

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**CARLA RABELO MONICH**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL PRÉ-  
FABRICADA EM MADEIRA NO SISTEMA *WOOD FRAME* NO ESTADO DO  
PARANÁ**

**CURITIBA**

**2012**

**CARLA RABELO MONICH**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL PRÉ-  
FABRICADA EM MADEIRA NO SISTEMA *WOOD FRAME* NO ESTADO DO  
PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração Ambiente Construído e Gestão, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio F. Tavares

**CURITIBA  
2012**

Monich, Carla Rabelo

Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná / Carla Rabelo Monich. – Curitiba, 2012.

126 f.: il., tabs., graf.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.

Orientador: Sérgio F. Tavares

1. Energia. 2. Carbono. 3. Casas com acabamentos de madeira. 4. Estruturas de madeira (Construção civil) 5. Indústria de construção civil – Aspectos ambientais. I. Tavares, Sérgio F. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD: 694

## TERMO DE APROVAÇÃO

CARLA RABELO MONICH

### AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL PRÉ-FABRICADA EM MADEIRA NO SISTEMA WOOD FRAME NO ESTADO DO PARANÁ

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil – UFPR

Examinadores:



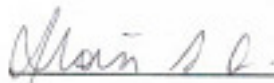
Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS



Profª. Drª. Cássia Maria Lie Ugaya

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – UTFPR



Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil – UFPR

Curitiba, 20 de abril de 2012

Aos meus pais, Márcia e Carlos,  
por tudo o que sou.

A minha irmã, Patrícia,  
pelo incentivo e por torcer por mim.

Ao Paulo Eduardo,  
pelo amor, carinho e apoio incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial, agradeço ao meu orientador Sergio F. Tavares, pela confiança, incentivo e suporte, indispensáveis para a realização deste trabalho.

Ao Professor Aloísio Schmid pela influência e por ser uma referência de um engenheiro apaixonado por conforto e arquitetura.

À Professora Maria do Carmo Freitas, pelo carinho e pela contagiante alegria cearense.

Ao Professor Leonardo Miranda, pela receptividade e oportunidade de estágio docência.

A todos os professores do PPGECC, agradeço pelo saber compartilhado e pelas contribuições na área de Sustentabilidade aplicada a Construção Civil.

À Ziza, exemplo de servidora pública.

Aos colegas mestrandos, em especial, à Bárbara e ao Emílio, pelo apoio, incentivo, risadas e carinho.

Aos membros da banca, Professor Miguel Sattler e Professora Cássia Ugaya, pelas contribuições nas áreas de Sustentabilidade e Ecologia Industrial.

E finalmente à CAPES – REUNI, pelo provimento da bolsa auxílio que tornou possível o desenvolvimento desta pesquisa.

*"What is the use of a house if you don't have a tolerable planet to put it on."*  
Henry David Thoreau, 1860.

## RESUMO

A madeira de florestas plantadas, proveniente de um reflorestamento de manejo mais sustentável, surge como uma alternativa para o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas à produção de componentes construtivos, visando um modelo de produção com base em recursos renováveis. Surge então o problema de como avaliar esta madeira enquanto opção ambientalmente adequada. Esta pesquisa teve por objetivo o dimensionamento da energia e do carbono embutidos nos materiais que compõem uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira e a análise da contribuição do processo de manufatura desta, em termos de energia embutida, no impacto ambiental desta habitação. O estudo de caso foi realizado a partir da coleta de dados na empresa que produz casas pré-fabricadas no sistema *Wood Frame* na Cidade Industrial de Curitiba e optou-se pela utilização de dados de energia e carbono provenientes de três fontes: a tese de Tavares (2006), a avaliação de ciclo de vida do OSB ATHENA (2008) e o inventário ICE (2011). Observa-se que o processo de beneficiamento da madeira dentro da fábrica acrescenta muito pouco em termos de energia embutida, sendo que o principal contribuinte seria a eletricidade empregada na fábrica. A partir do quantitativo de materiais, encontrou-se o valor de energia embutida de 2,96 MJ/m<sup>2</sup>, sendo este baixo frente ao valor da energia embutida no beneficiamento dos materiais que a compõem, de 2.400 MJ/m<sup>2</sup>. Para concluir a avaliação do impacto ambiental, utilizou-se o software SimaPro 7.3 onde foram modeladas para fins de comparação, a habitação em *Wood Frame* e uma em alvenaria. Utilizou-se o método de avaliação de impacto CML 2 baseline 2000 V2.V5/Mundo, 1990, para analisar os impactos dos materiais, em termos de aquecimento global.

Palavras-chave: Energia embutida, CO<sub>2</sub> embutido, habitações de interesse social pré-fabricadas em madeira, avaliação ambiental e sistema *Wood Frame*.



## ABSTRACT

Wood from planted forests, from a more sustainable forestry management, emerge as an alternative to the appropriate building components development, targeting on a model based on renewable resources. Then problem arises of how should wood be evaluated as an environmental option. This research aimed to study the embodied energy and carbon in the materials that compose a prefabricated social housing unit in *Wood Frame* and to analyze the manufacturing process contribution in terms of embodied energy. The case study was conducted by collecting data on a company that prefabricates the houses in Curitiba. The carbon and energy data used were from three sources: the thesis of Tavares (2006), the OSB Life Cycle Assessment ATHENA (2008) and the inventory ICE (2011). The prefabricated process inside the factory adds very little in terms of embodied energy, and the main contributor is the electricity used in the factory. From the material accounting, the embodied energy value of 2.96 MJ / m<sup>2</sup> was calculated, which compared to the materials embodied energy of 2.400 MJ/ m<sup>2</sup>, is very low. To complete the environmental assessment, the software SimaPro 7.3 was used, in which were modeled for comparison purposes, the *Wood Frame* and masonry houses. The impact assessment method V2.V5/Mundo CML 2 baseline 2000, 1990 was used, to analyze the materials impacts in terms of global warming.

Keywords: Embodied energy, embodied carbon, social housing, prefabricated wood houses, environmental assessment and *Wood Frame* system.

## LISTA DE SIGLAS

ABCV – Associação Brasileira do Ciclo de Vida

ACV – Avaliação do ciclo de vida

ACVE – Análise do ciclo de vida energético

AEC – Arquitetura, engenharia e construção

BEN– Balanço Energético Nacional

Cerflor – Sistema de Certificação Florestal Brasileiro

CETEA - Centro de Tecnologia da Embalagem

COV – Compostos orgânicos voláteis

FSC Brasil – *Forest Stewardship Council*

GEE – Gases de efeito estufa

GRI – *Global Reporting Initiative*

GWPi – *Global Warming Potential*

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

IFIAS – International Federation of Institutes for Advanced Studies

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO – *International Organization for Standards*

LCA – *Life Cycle Assessment*

LP – *Louisiana Pacific*

MRI – *Midwest Research Institute*

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

OSB – *Oriented Strand Board*

PAG – Potencial de aquecimento global

PBO – *Painted Based Overlay*

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

REPA – *Resource and Environmental Profile Analysis*

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente

SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura da ISO TC 207 Avaliação do Ciclo de Vida.....	28
Quadro 2 – <i>Softwares</i> de ACV .....	30
Quadro 3 - Geração de CO <sub>2</sub> por fontes de energia.....	35
Quadro 4 - PAG dos materiais.....	38
Quadro 5 - Durabilidade dos produtos em madeira .....	39
Quadro 6 - Usos de madeira amazônica na construção civil do Estado de São Paulo.....	40
Quadro 7 - Produtos florestais primários e secundários.....	48
Quadro 8 - Panorama do estado da arte de ACV de madeira na Noruega e Suécia.....	52
Quadro 9 – Fontes de energia reportadas no GRI.....	67
Quadro 10 - Percentual de fontes não renováveis por materiais de construção.....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de uma ACV .....	29
Figura 2 - Níveis energéticos segundo IFIAS, 1974.....	33
Figura 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte, 2010. ....	34
Figura 4 - Ciclo do CO <sub>2</sub> .....	36
Figura 5 - Casa de Madeira.....	41
Figura 6 - Selo FSC.....	45
Figura 7 – Selo Cerflor .....	46
Figura 8 - Fluxo dos produtos florestais .....	47
Figura 9 - Processo de manufatura do OSB.....	50
Figura 10 - Habitação pré-fabricada em <i>Wood Frame</i> no município de Maringá, Paraná. ....	65
Figura 11 - Estrutura <i>Wood Frame</i> da habitação pré-fabricada.....	66
Figura 12 - A habitação pré-fabricada .....	66
Figura 13 - Madeira sendo destopada.....	69
Figura 14 - Montagem dos painéis.....	70
Figura 15 - Painéis com a membrana hidrófuga.....	71
Figura 16 – Pannel OSB Smartside .....	72
Figura 17 – Planta da habitação de interesse social em alvenaria e concreto armado.....	85
Figura 18 – Escolha das opções em Bibliotecas.....	88
Figura 19 – Layout do SimaPro onde são inseridas os materiais.....	88
Figura 20 – Criação dos materiais que compõem as habitações no SimaPro .....	89
Figura 21 - <i>Electricity production mix BR</i> .....	90
Figura 22 – Aquecimento global como impacto causado pela geração energética brasileira.....	91
Figura 23 – Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a geração energética brasileira. ....	92
Figura 24 – Layout de Fases do produto, onde foram inseridas em Montagem as habitações. ....	92
Figura 25 – Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em <i>Wood Frame</i> .....	93
Figura 26 - Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em alvenaria .....	94
Figura 27 – Layout da análise da Habitação em <i>Wood Frame</i> pelo CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990 .....	95

Figura 28 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em <i>Wood Frame</i> pelo CML 2 baseline 2000 .....	95
Figura 29 – Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em <i>Wood Frame</i> .....	96
Figura 30 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em alvenaria pelo CML 2 baseline 2000 .....	97
Figura 31 - Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em alvenaria. ....	98
Figura 32 - Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em <i>Wood Frame</i> com dados do Ecoinvent (2012). ....	99
Figura 33 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em <i>Wood Frame</i> com dados do Ecoinvent (2012) pelo CML 2 baseline 2000.....	100
Figura 34 - Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em <i>Wood Frame</i> com dados do Ecoinvent (2012).....	101
Figura 35 - Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012). ....	102
Figura 36 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012) pelo CML 2 baseline 2000.....	103
Figura 37 - Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012).....	104
Figura 38 – <i>Layout</i> da comparação das quatro habitações.....	105
Figura 39 - Método CML 2 baseline V2.05/World.....	105
Figura 40 - Método Greenhouse Gas Protocol V1.01.....	106
Figura 41 - Método IPCC 2007 GWP 100a V1.02.....	106
Figura 42 - Método BEES V4.02.....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Energia Embutida na Madeira .....	51
Tabela 2 - Potencial de aquecimento de diferentes técnicas construtivas .....	54
Tabela 3 - Emissões de CO <sub>2</sub> em uma habitação de interesse social .....	56
Tabela 4 – Quantitativo de material da habitação de interesse social no sistema <i>Wood Frame</i> .....	65
Tabela 5 - Base de dados para a estimativa da eletricidade .....	73
Tabela 6 - Geração de CO <sub>2</sub> por tipo de fonte energética .....	74
Tabela 7 – Relação de kg CO <sub>2</sub> por MJ do material .....	75
Tabela 8 - Valores de energia e carbono embutidos para os materiais de construção adaptados de Tavares (2006) .....	75
Tabela 9 - Valores de energia e carbono embutidos para os materiais de construção da habitação pré-fabricada adaptados do ICE(2010) .....	78
Tabela 10 - Balanço de massa da produção do OSB.....	78
Tabela 11 - Base absoluta das categorias de impacto na manufatura do OSB .....	79
Tabela 12 - Base percentual das categorias de impacto na manufatura do OSB .....	79
Tabela 13 - Valores de energia e carbono embutidos para os materiais de construção da habitação pré-fabricada adaptados do Athena Institute (2008) .....	79
Tabela 14 - Energia e carbono embutidos por material de construção da habitação pré-fabricada em <i>Wood Frame</i> .....	80
Tabela 15 - Energia e carbono embutido por metro quadrado.....	80
Tabela 16 - Tempo de corte dos materiais na destopadeira .....	82
Tabela 17 - Carbono estocado no Pinus e OSB.....	83
Tabela 18 – Quantitativo final de habitação em <i>Wood Frame</i> com o balanço do carbono fixado .....	84
Tabela 19 – Quantitativo de material que compõe a habitação de interesse social em alvenaria e concreto armado.....	86
Tabela 20 – Valores de energia e CO <sub>2</sub> embutidos para os materiais da habitação em alvenaria.....	86
Tabela 21 - Energia e carbono embutidos por material de construção da habitação pré-fabricada em alvenaria.....	87
Tabela 22 – Quantitativo final dos valores de energia e CO <sub>2</sub> embutidos e por m <sup>2</sup> .....	87

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA .....	17
1.2	OBJETIVO .....	17
1.3	PRESSUPOSTOS.....	17
1.4	DELIMITAÇÃO .....	18
1.5	JUSTIFICATIVAS.....	18
1.5.1	Socioeconômica.....	18
1.5.2	Tecno-ambientais .....	19
1.6	CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA.....	21
1.7	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>24</b>
2.1	EDIFICAÇÕES E SUSTENTABILIDADE .....	24
2.1.1	Desenvolvimento sustentável .....	24
2.1.2	Edificações mais sustentáveis.....	25
2.1.3	Parâmetros de sustentabilidade em edificações .....	26
2.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	27
2.2.1	Histórico .....	27
2.2.2	Propostas e normalização .....	29
2.2.3	Descrição e aplicação da ferramenta ACV.....	29
2.2.4	Softwares.....	30
2.3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICA.....	30
2.3.1	Conceito de energia embutida .....	31
2.3.2	Métodos de análise de energia embutida .....	32
2.3.3	Níveis de análises energéticas .....	32
2.3.4	Balanco Energético Nacional .....	33
2.4	DIÓXIDO DE CARBONO .....	34
2.4.1	Carbono .....	35
2.4.2	Mudanças climáticas .....	36
2.5	MADEIRA .....	38
2.5.1	A casa de madeira .....	40
2.5.2	OSB .....	49
2.5.3	A avaliação do ciclo de vida da madeira .....	50
2.6	Avaliações ambientais no Brasil.....	55
<b>3</b>	<b>ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>58</b>
3.1	SEQÜENCIA DAS ATIVIDADES .....	58
3.1.1	Revisão bibliográfica.....	58
3.1.2	Seleção da estratégia.....	58
3.1.2.1	Testes de validade.....	59



3.1.2.2	Delimitação .....	60
3.1.3	Protocolo de coleta de dados .....	60
3.1.3.1	Fase decisória .....	60
3.1.3.2	Fase construtiva .....	61
3.1.3.3	Fase redacional .....	61
3.1.4	<i>Softwares</i> .....	62
3.1.5	Avaliação do impacto do ciclo de vida .....	62
3.1.6	Interpretação do ciclo de vida .....	63
3.1.6.1	Coleta de dados .....	63
3.1.6.2	Incertezas durante a coleta de dados .....	63
3.1.6.3	Processo de transporte .....	63
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>64</b>
4.1	A HABITAÇÃO PRÉ-FABRICADA EM MADEIRA .....	64
4.1.1	A empresa .....	64
4.1.2	A casa .....	64
4.1.2.1	Os materiais .....	67
4.1.3	Partes da casa excluídas do cálculo de energia embutida .....	68
4.1.4	O sistema de pré-fabricação .....	68
4.1.5	O processo de fabricação .....	69
4.1.6	Os componentes da casa .....	71
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>73</b>
5.1	ENERGIA E CARBONO EMBUTIDOS .....	73
5.1.1	Energia e carbono embutidos nos componentes da casa .....	73
5.1.1.1	Energia e carbono embutidos adaptados do método de Tavares (2006) .....	73
5.1.1.2	Energia e carbono embutidos adaptados da base de dados ICE (2011) .....	75
5.1.1.3	Energia e carbono embutidos adaptados do estudo do Athena Institute (2008) .....	78
5.1.1.4	Energia e carbono embutidos nos materiais que compõem a habitação social em <i>Wood Frame</i> .....	79
5.1.2	Energia embutida no processo de manufatura da habitação pré-fabricada .....	80
5.2	CARBONO ESTOCADO .....	83
5.3	ACV .....	84
5.3.1	Habitação de interesse social em alvenaria e concreto armado .....	84
5.3.2	Modelagem no software SimaPro .....	87
5.3.2.1	Primeira situação: dados de energia e carbono embutidos .....	88
5.3.2.2	Segunda situação: a partir do banco de dados Ecoinvent (2012) .....	99
5.3.3	Aquecimento global .....	105
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>108</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>114</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A transformação do ambiente natural em construído é uma marca da vida humana sobre os elementos que compõem o planeta Terra. Neste cenário, as edificações desempenham um papel crucial no bem-estar dos indivíduos, das comunidades e das organizações. Portanto, a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e seus fornecedores possuem um papel vital no desenvolvimento e no incentivo da cultura de tecnologias limpas (HALLIDAY, 1997). Observa-se que diversos setores da sociedade têm se conscientizado a respeito da pressão causada pelo acúmulo de resíduos no meio ambiente, que afetam a saúde humana e a qualidade de vida (GIANETTI e ALMEIDA, 2006).

Edificações demandam energia de maneira direta e indireta durante o seu ciclo de vida. Diretamente, para a construção, operação, reabilitação e eventualmente demolição. Indiretamente através da produção dos materiais empregados na construção destas edificações e transporte até os locais de consumo (TRELOAR, 1998).

Devido à importância estratégica que o setor da Construção Civil possui na discussão da sustentabilidade, uma das estratégias de implementação deste conceito é utilizar abordagens por Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com o intuito de se implantar melhorias nos processos e serviços. O desenvolvimento de bancos de dados que associem o ciclo de vida de materiais e processos como consumos e descartes constitui o ponto de partida no apoio à decisão para a escolha de opções ambientalmente adequadas (SOARES e PEREIRA, 2004).

A madeira é um material construtivo considerado popular, leve, durável, renovável e com baixo grau de dificuldade de manuseio. Quando a madeira é empregada em habitações, constitui uma ferramenta para fixação do carbono, contribuindo assim para uma redução da emissão dos gases do efeito estufa. Na Construção Civil, a madeira pode ser utilizada em usos temporários, como andaimes, formas para concreto e escoramentos. De maneira definitiva, é utilizada em estruturas de cobertura, forros, pisos, esquadrias e em casas pré-fabricadas (ZENID, 2009).

No Brasil, a Construção Civil ainda tem um longo caminho a percorrer em relação ao desenvolvimento de componentes padronizados para construções que causem menores impactos ambientais, reduzam o desperdício de materiais, demandem menores níveis de energia, sejam mais econômicas e de rápida execução. Por ser renovável, a madeira é um material promissor para ser aplicado no século XXI, porém a simples utilização deste material não garante projetos mais sustentáveis. Deve ser considerada a espécie de madeira a ser utilizada, sua produção dentro dos planos de manejo e os impactos causados pelo transporte. Uma vez que estas questões são incorporadas, um passo importante é dado em direção a um desenvolvimento mais sustentável. A madeira de reflorestamento, proveniente de um manejo sustentável, surge como uma alternativa para o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas à produção de componentes construtivos, visando um modelo de produção com base em recursos renováveis (BERRIEL, 2011).

### **1.1 PROBLEMA DE PESQUISA**

Como avaliar a madeira enquanto opção ambientalmente adequada, do ponto de vista da energia e do carbono embutidos, para habitações de interesse social?

### **1.2 OBJETIVO**

Esta pesquisa tem por objetivo dimensionar a energia e o carbono embutidos nos materiais que compõem uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira e analisar a contribuição do processo de manufatura desta, em termos de energia embutida, no impacto ambiental desta habitação.

### **1.3 PRESSUPOSTOS**

Esta pesquisa parte dos seguintes pressupostos:

Materiais produzidos a base de madeira possuem menores níveis de energia embutida em relação aos materiais tradicionalmente empregados na Construção Civil;

A diminuição da concentração do CO<sub>2</sub> promovida pela fixação do carbono em usos duráveis na madeira – e não como combustível – é uma estratégia de sustentabilidade frente às mudanças climáticas.

## 1.4 DELIMITAÇÃO

O presente projeto faz a quantificação da energia embutida e estima o carbono embutido nos componentes de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema *Wood Frame* produzida na Cidade Industrial de Curitiba. Devido ao escopo da pesquisa, algumas partes que compõem a habitação tiveram os seus dados obtidos a partir de inventários, periódicos indexados, *softwares* de ACV e através do levantamento de informações nas empresas fabricantes de alguns materiais. Outros componentes foram excluídos da pesquisa, conforme detalhado no capítulo 4.

## 1.5 JUSTIFICATIVAS

### 1.5.1 Socioeconômica

Para Damasceno *et al.* (2011), o desenvolvimento e a sustentabilidade se unem em uma expressão de ideologias que tem em vista a evolução com o prisma ambiental de forma inesgotável, visando garantir o que há por vir com planejamento aplicado, unidos pelo real compromisso socioeconômico, empresarial e comercial.

O estudo de caso trata de uma habitação de interesse social, setor este que apresenta um déficit na oferta. A utilização de habitações em *Wood Frame* é uma maneira de se simplificar o processo habitacional no Brasil. A partir deste sistema, é possível reduzir os custos das habitações (HILGENBERG NETO, 2003), estimular o aumento ao atendimento da população e criar um vínculo de ações que aspirem à solução de outros problemas sociais. Segundo Laroca (2002), a madeira de reflorestamento utilizada na construção destas habitações é uma alternativa para a melhoria das condições de vida da população de baixa renda.

O déficit habitacional na região sul do Brasil em 2005 era de 8,6% da demanda, enquanto que no Brasil era de 14,7%, o equivalente a 7,8 milhões de domicílios. A maior concentração de carência habitacional está nas faixas de menor renda familiar. Entre 1990 – 2007, o déficit habitacional foi de 13,1% e entre 2007 – 2030, o cenário de referência é de 7%. Se houver avanços e investimentos neste setor, este número deve ficar cerca de 3% menor (BRASIL SUSTENTÁVEL, 2008).

Uma vantagem das habitações em madeira é a possibilidade de a manutenção ser feita por usuários leigos, quando se tratarem de edificações padronizadas e que possuam peças de reposição à disposição do usuário, a preços acessíveis. A habitação em madeira é da ordem de 70% mais leve do que a em alvenaria de tijolos, fato este que possibilita soluções de fundação mais econômicas. Se ainda for levado em conta o fato de os terrenos destinados às habitações de interesse social serem áreas desvalorizadas, em terrenos baixos quanto à sua topografia e com presença de umidade, esta leveza passa a ganhar uma conotação significativa no aspecto econômico. Além disso, as habitações em madeira produzidas industrialmente podem ser significativamente mais baratas do que as convencionais, pois apesar da necessidade de secagem adequada e do tratamento com preservantes, a produção em série é economicamente viável (HILGENBERG NETO, 2003).

Além destes fatos, um dos motivos para a condução desta pesquisa se encontra no apoio às habitações em madeira, que ainda sofrem um preconceito de ordem social no Brasil por irem de encontro às tradicionais construções em alvenaria, fruto da colonização lusitana.

### **1.5.2 Tecno-ambientais**

Na medida em que crescem as pressões impostas pela humanidade ao meio ambiente, ocorre um aumento na necessidade por informações para a tomada de decisões. Neste cenário, a preocupação com a sustentabilidade justifica-se com os impactos causados devido à exploração antropogênica dos recursos naturais. Os materiais a partir dos quais um edifício é construído contribuem significativamente no impacto ambiental total. Este impacto é sentido em numerosas maneiras: localmente, através dos efeitos de atividades como a extração; globalmente, como um resultado das emissões de dióxido de carbono da manufatura dos materiais internamente, nos efeitos na saúde dos ocupantes de um edifício (HARRIS, 1999).

A produção industrial é responsável por cerca de 20% da poluição atmosférica (GOLDEMBERG E VILLANUEVA, 2003). O consumo energético brasileiro no setor comercial em 2010 foi de  $6,6 \cdot 10^6$  tep, sendo a eletricidade responsável por 88,9% deste valor. O setor público consumiu  $3,6 \cdot 10^6$  tep, sendo que a eletricidade foi responsável por 87,5%. Já o setor residencial consumiu  $23,7 \cdot 10^6$  tep, sendo que as fontes energéticas foram mais

diversificadas: a lenha teve uma participação de 30,7%, o gás liquefeito de petróleo de 26,6% e a eletricidade de 39,4%. O setor residencial é, de todos estes setores, estreitamente ligado à Construção Civil e nota-se que mesmo somando o setor comercial e o público, ainda assim o setor residencial possui um consumo muito maior (BEN, 2011).

Uma mudança no *mix* dos materiais de construção, com aumento na ênfase do uso da madeira, poderia causar implicações globais nas florestas, nos requisitos energéticos e nas emissões de dióxido de carbono. As emissões de carbono advindas da manufatura de materiais de construção são mais expressivas do que o carbono armazenado nos materiais. Dada a vida finita de todos os produtos de madeira, o armazenamento de carbono permanece praticamente constante durante o tempo, considerando que a emissão de carbono acumulada da manufatura dos produtos de carbono continue a aumentar. As emissões acumuladas de combustíveis fósseis durante um período de 150 anos se aproximariam do carbono armazenado. O aumento da utilização de madeira como um material de construção levando a um incremento de 17% de madeira nas edificações neozelandesas, resultaria em um decréscimo de 20% no consumo energético proveniente de fontes fósseis e uma diminuição de 20% nas emissões de carbono da manufatura dos materiais de construção (BUCHANAN e LEVINE, 1999).

Inserida em um período de escassez de material de florestas nativas, a casa contemporânea necessita do uso de madeira de florestas plantadas, com a utilização de um grau de industrialização – característico do sistema pré-fabricado – permitindo um menor custo, conforto ambiental adequado e ganho de tempo de construção. Aliada deve estar a questão da modulação, respeitando as dimensões das chapas portantes de OSB, derivadas da madeira (BATISTA, 2007).

A ecoeficiência parte de um princípio simples – produzir mais, com menos – minimizando assim os impactos ambientais, por diminuir o uso de matérias-primas. Neste contexto, aumenta-se a eficiência dos processos, gerando benefícios para a empresa e para o meio ambiente (GIANETTI e ALMEIDA, 2006).

A ACV pode ser utilizada para fornecer dados e informações para a tomada de decisões empresariais, políticas públicas e por parte dos consumidores, com o objetivo de

reduzir os impactos ambientais e sociais (LAZZARI, 2010). A justificativa da escolha deste tema consiste na contribuição para a sustentabilidade aplicada às edificações, na medida em que a consolidação e a atualização dos dados de uma ACV se tornam informações relevantes no estudo do impacto ambiental causado pelo setor da Construção Civil. Esta pesquisa aspira contribuir com a base de dados de apoio à utilização da madeira como uma opção ambientalmente adequada, com o intuito de atualizar os dados disponíveis no Brasil, buscando assim uma nova consideração ao uso da madeira em construções habitacionais.

## **1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA**

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná tem como objetivo central a ampliação e o aprofundamento de conhecimentos nas áreas de Engenharia Civil para atendimento à demanda existente (PPGECC, 2012).

Druszczyk (2002) analisou o desempenho ambiental do bloco cerâmico. Para a aplicação da ferramenta ACV, foram coletados dados a partir de um estudo de caso realizado em quatro olarias localizadas na cidade de Curitiba, além da coleta de dados junto a Secretaria Municipal do Meio Ambiente e a uma construtora atuante na cidade de Curitiba. A partir da análise dos dados, foram identificadas as fases do ciclo de vida do bloco cerâmico que causam mais impactos ambientais.

Hilgenberg Neto (2003) determinou a viabilidade técnica e econômica de se adotar um processo construtivo com uso de madeira de reflorestamento disponível no Paraná, comparativamente ao processo construtivo convencional em alvenaria, para habitações de interesse social.

Castro (2008) buscou definir diretrizes que promovam uma nova consideração e incremento do uso da madeira em construções habitacionais, a partir da apreensão da realidade do Chile, que possam ser aplicadas no Brasil.

Marcos (2009) analisou o setor da construção de habitações de interesse social, sendo o seu objetivo analisar, através de um sistema CAD-BIM, a emissão de dióxido de carbono na fase pré-operacional da construção, em dois tipos de habitação de interesse

social, uma construída nos métodos convencionais – paredes de alvenaria, cimento e argamassa – e outra utilizando painéis de madeira.

Lobo (2010) teve por objetivo na sua dissertação o desenvolvimento de uma metodologia de inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono por meio da análise energética dos serviços de uma planilha de composição de serviços de obras. A principal contribuição da pesquisa consistiu na demonstração de um método para o cálculo das emissões de dióxido de carbono equivalente a partir da planilha de serviços de uma obra vinculando os dados de insumos de energia embutida e emissão de dióxido de carbono.

### **1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A estrutura desta dissertação é apresentada de maneira a acompanhar as etapas desenvolvidas durante o trabalho:

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO: apresentação, esclarecimento e justificativa do contexto em que se insere a pesquisa, do problema a ser estudado, assim como o objetivo, a descrição da organização do trabalho através das etapas de desenvolvimento, contextualização junto ao programa de pós-graduação e a estrutura da dissertação.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA: verificação do tema abordado, fundamentando a lógica do trabalho através do levantamento bibliográfico relacionado ao problema desta pesquisa; revisão e análise da literatura relevante já publicada na área; apresentação da madeira como material de Construção Civil; descrição sobre os conceitos de ACV, energia embutida, eficiência energética, geração de CO<sub>2</sub>, mudanças climáticas, para definir o enfoque com que estes temas se entrelaçam neste estudo.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA: detalha a metodologia aplicada para responder o problema da pesquisa e para alcançar o seu objetivo e escopo; aplicação da ferramenta ACV, apresentação do instrumento de coleta de dados e da seleção da amostra, bem como esclarecimento sobre os critérios de avaliação e o tratamento dos dados coletados.

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO: este capítulo detalha a habitação pré-fabricada, os materiais que a compõem, a empresa fabricante, o escopo do estudo e o processo de fabricação do estudo de caso.



CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO AMBIENTAL: este capítulo detalha a avaliação ambiental da habitação pré-fabricada, a análise e discussão dos resultados, apresenta o cálculo da energia embutida no processo de pré-fabricação da habitação. Além disso, é apresentada uma comparação com uma habitação de interesse social em alvenaria.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS: este capítulo aborda as considerações finais, assim como as sugestões de trabalhos futuros.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo se faz a revisão e a análise da literatura relevante publicada na área, procurando fundamentar os conceitos de sustentabilidade aplicados à Construção Civil, a partir da inclusão de dados de energia e carbono embutidos na madeira, expostos em periódicos e inventários recentes e da literatura consolidada sobre o tema proposto, bem como se fundamenta a lógica do trabalho através do levantamento bibliográfico relacionado às ACV da madeira.

### **2.1 EDIFICAÇÕES E SUSTENTABILIDADE**

#### **2.1.1 Desenvolvimento sustentável**

O ano de 1962 é considerado o ano em que se começou a entender a proximidade entre o desenvolvimento e o meio-ambiente. O livro *Primavera Silenciosa*, publicado por Rachel Carson naquele ano, apresentou pesquisas sobre toxicologia, ecologia e epidemiologia, desmistificando a capacidade infinita do meio ambiente absorver poluentes (IISB, 1997 *apud* FOSSATI, 2008).

Durante a década de 1970, a alta no preço do petróleo fez com que se começasse a prestar atenção em relação à sustentabilidade. Na década seguinte vieram as mudanças climáticas, quando as taxas de redução da camada de ozônio e o aumento dos gases que geram o efeito estufa tornaram-se aparentes. A partir de 1990, o aumento constante das temperaturas globais tornou esta a década mais quente até então registrada (ROAF, FUENTES e THOMAS, 2006).

Após o início de 1970, observou-se uma preocupação internacional em relação às consequências do modelo de desenvolvimento. Convenções internacionais passaram a ser realizadas para a definição de metas para a desaceleração do impacto sobre os recursos naturais (LOBO, 2010). A definição do conceito de desenvolvimento sustentável foi apresentada pela Comissão Brundtland em 1987 no informe *Our common future* e coloca que este busca garantir o desenvolvimento econômico e social das atuais gerações sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987).

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD, que ocorreu em 1992, foi um evento que contou com a participação de 178 países e é um marco na história da luta pela proteção ao meio ambiente. A Agenda 21, redigida durante a realização da Reunião de Cúpula do Rio, explicita as principais questões da relação entre o homem e o meio ambiente, através de metas e ações a serem ratificadas como compromissos pelos países signatários, visando o desenvolvimento sustentável. Desde então, o conceito de desenvolvimento sustentável tem sido introduzido de modo lento, mas firme, em todas as discussões sobre progressos nos mais diversos setores da sociedade (DRUSZCZ, 2002; TAVARES, 2006).

### **2.1.2 Edificações mais sustentáveis**

Este avanço do conhecimento dos efeitos dos poluentes, e por consequência a destruição da camada de ozônio e o surgimento do efeito estufa demonstrou que a preservação do meio ambiente exigia uma reformulação dos processos produtivos e de consumo. Desta forma, lançou-se um novo olhar sobre o impacto ambiental das atividades de produção e consumo, desde a extração da matéria-prima, da manufatura e industrialização do produto, do transporte, do destino dos resíduos de produção e do descarte do produto (JOHN, 2001).

A definição de desenvolvimento sustentável proposta pela Comissão Brundtland gerou uma série de sub-definições que atendem às necessidades particulares de cada setor. O renomado escritório de arquitetura Norman Foster + Partners define que a arquitetura sustentável é *a criação de edificações eficientes do ponto de vista energético, saudáveis, confortáveis, de uso flexível e projetadas para terem uma vida longa útil* (EDWARDS, 2005).

A Agenda 21 para a Construção Sustentável destacou a significância da sustentabilidade em suas dimensões sociocultural e econômica e a necessidade de um tratamento das práticas de gerenciamento e das questões não técnicas de políticas de construção. Este documento aponta como desafios para a indústria da Construção Civil: gerenciamento e organização, produtos e edifícios, consumo de recursos e os impactos da construção no desenvolvimento urbano sustentável (CIB, 2000).

A sustentabilidade ocupa um lugar de destaque na vanguarda da ciência como base para tecnologias inovadoras, representando assim um novo paradigma para a equidade social. No âmbito arquitetônico, o desenvolvimento sustentável envolve os dois grandes vetores do Movimento Moderno: a inovação tecnológica e a igualdade social. Movimentos como a arquitetura *high-tech* utilizam novas tecnologias de edificação, mas não contemplam aspectos sociais. Já a arquitetura social costuma ignorar o potencial de projeto e as tecnologias para a resolução de problemas sociais (EDWARDS, 2005).

### **2.1.3 Parâmetros de sustentabilidade em edificações**

São parâmetros de sustentabilidade ambiental em uma edificação: o local, a água, os materiais e a energia. A mudança do valor ecológico para a implantação de uma construção é um fator determinante neste campo. O consumo de solo para edificações de todo tipo gera uma perda de sistemas naturais e uma alteração na qualidade ecológica do local de implantação. O consumo de água nas edificações é um fator de importância ambiental. A água é desviada dos sistemas naturais que a utilizam para o abastecimento de uma edificação. Para que ocorra uma redução no impacto do uso da água deve-se buscar uma eficiência no consumo, através dos aparelhos e instalações. Pode-se também reciclar águas cinzas e captar, armazenar e utilizar água proveniente da chuva. Os impactos ambientais associados ao consumo de materiais começam pela extração, fabricação e reintegração dos materiais que compõem uma edificação. Para um consumo mais eficiente dos mesmos deve-se haver uma redução na quantidade de materiais por unidade de serviço, uma potenciação no reúso, um aumento na utilização de materiais recicláveis, uma minimização e gestão dos resíduos com vistas ao reúso e à reciclagem. O consumo sistemático de energia fóssil acarreta uma série de impactos ambientais incompatíveis em longo prazo com a sustentabilidade ambiental: emissões de distintos contaminantes durante a combustão, com efeitos globais (efeito estufa), regionais (chuva ácida) e locais (poluição urbana do ar). A utilização de combustíveis fósseis e nucleares é um exemplo pragmático da ausência de sustentabilidade: implica a extração e consumo de um recurso não renovável e a geração de outros resíduos (as emissões atmosféricas ou as radiações ativas durante milhares de anos)

que afetam gravemente os sistemas globais que sustentam a vida no globo (BURGOS *et al.*, 2003; GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003).

## **2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Gradualmente, tornam-se atitudes inerentes às atividades industriais a minimização de resíduos, a prevenção da poluição, a reciclagem, a otimização dos sistemas, a utilização de matérias-primas renováveis e a conservação energética. A Ecologia Industrial vem ao encontro deste contexto, como sendo uma analogia que associa os sistemas industriais com os ecossistemas, fornecendo as bases para um sistema industrial que vise à sustentabilidade (GIANETTI e ALMEIDA, 2006). Allenby e Richards (1994) identificam como ferramentas da Ecologia Industrial a ACV, o Projeto para o Meio Ambiente (PMA) e a contabilidade ambiental.

Independente do material de que é feito, todo produto provoca um impacto ambiental, seja em função do seu processo produtivo, da extração das matérias-primas, ou devido ao seu uso ou disposição final (CHEHEBE, 1998).

A definição dos materiais utilizados na construção representa um campo da engenharia com caráter ambientalmente responsável. A ACV se destaca como uma ferramenta de excelência da Ecologia Industrial para a avaliação e escolha de alternativas sob a ótica ambiental. O princípio da ferramenta consiste na realização da análise das repercussões ambientais de uma atividade (ou de um produto) a partir de um inventário que contemple as entradas e saídas do sistema considerado, tais como, matérias-primas, energia, produto, subprodutos e resíduos (SOARES e PEREIRA, 2004).

### **2.2.1 Histórico**

Foram interesses de ordem social e econômica que estimularam as primeiras pesquisas que desenvolveram os métodos e ferramentas que auxiliam na compreensão, controle e redução dos impactos ambientais indesejáveis (TAVARES, 2006).

Do final da década de 60 ao início da década de 80 do século XX, em função de um boicote internacional realizado pelos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP – o preço do barril de petróleo saltou de US\$2,23 para

US\$34,00, acarretando para a economia mundial uma crise sem precedentes. Esta crise despertou o mundo para a necessidade de uma melhor utilização dos recursos naturais e por uma busca de formas alternativas de energia. O primeiro método idealizado para este fim foi o REPA – *Resource and Environmental Profile Analysis* – encomendado em 1965 pela empresa americana fabricante de refrigerantes Coca-Cola ao MRI – *Midwest Research Institute* – para analisar os efeitos do impacto ambiental do uso de duas embalagens para refrigerantes. Em 1974 a EPA – *Environmental Protection Agency* – encomendou ao MRI um aprimoramento desta pesquisa, tornando este o primeiro modelo de ACV (CHEHEBE, 1998).

O desenvolvimento mais significativo para chegar às orientações amplamente aceitas foi estimulado e coordenado pelo SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – em 1992. O seu *Code of Practice* foi o primeiro documento abrangente que resumiu princípios e propôs a estrutura conceitual dos estudos de ACV. Enquanto isso, a ISO – *International Organization for Standards* – iniciou um processo de normalização com uma versão ligeiramente modificada da estrutura geral proposta pelo SETAC. Para preparar a plataforma para o novo conceito na comunidade técnica, a ISO criou em 1993 o grupo de trabalho TC 207 SC 5 – um comitê técnico composto por cinco grupos de trabalho. Os grupos de trabalho e os documentos preparados pelos mesmos se encontram no Quadro 1.

Quadro 1 - Estrutura da ISO TC 207 Avaliação do Ciclo de Vida

GRUPOS	TC 207 SC 5	DOCUMENTOS PREPARADOS
1	Avaliação do Ciclo de Vida, Princípios Gerais e Procedimentos	Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estruturas
2 e 3	Análise do Inventário do Ciclo de Vida	Avaliação do Ciclo de Vida - Definição do Objetivo e Escopo e Análise do Inventário do Ciclo de Vida
4	Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida	Avaliação do Ciclo de Vida - Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida
5	Interpretação do Ciclo de Vida	Avaliação do Ciclo de Vida - Interpretação

Fonte: adaptado de RICHTER (1998)

### 2.2.2 Propostas e normalização

A ACV admite que todos os estágios dentro do ciclo de vida de um produto causam algum impacto ambiental e, portanto, devem ser analisados. Mesmo sendo considerada um procedimento complexo, a ACV confere uma dimensão científica à avaliação ambiental das edificações (DRUSZCZ, 2002).

De acordo com a norma NBR ISO 14040, a ACV, ou em inglês, *Life Cycle Assessment* (LCA), é definida como “compilação e avaliação de entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto”.

### 2.2.3 Descrição e aplicação da ferramenta ACV

Para Lazzari (2010), para que uma ACV obtenha êxito, devem estar definidas as funções do sistema de produto e suas fronteiras, a unidade funcional, os fluxos de referências, os critérios de corte e os procedimentos de alocação, dentre vários outros itens exigidos pelas normas relacionadas. A Figura 1 ilustra os componentes de uma ACV, de acordo com a ISO (2006).

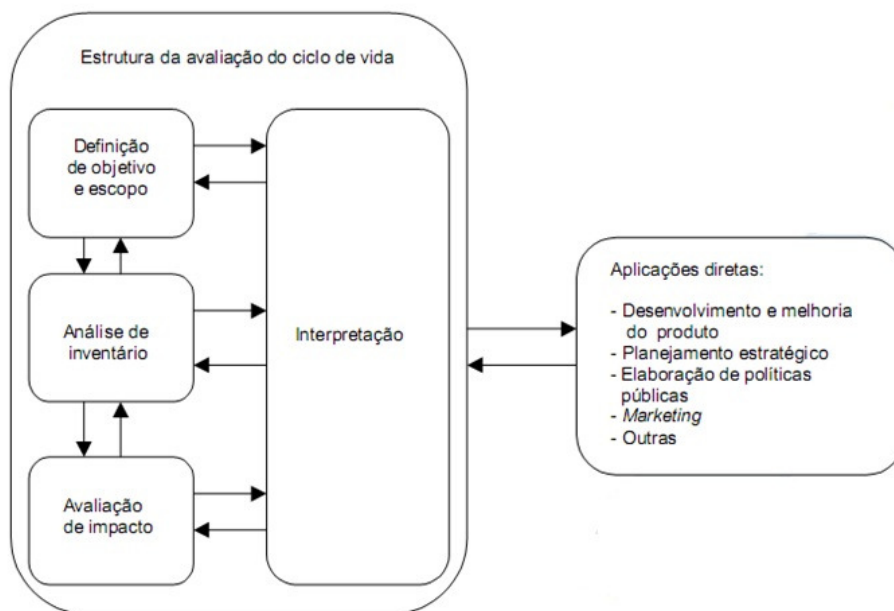


Figura 1 - Componentes de uma ACV

Fonte: NBR ISO (2006)

Uma das estratégias do setor da Construção Civil é utilizar abordagens por ACV a fim de implantar melhorias e inovações de produto, processos e serviços de suas atividades, que promovam ganhos no desempenho ambiental do setor (LOBO, 2010).

#### 2.2.4 Softwares

Segundo Salles (2009), existe uma série de *softwares* e base de dados desenvolvidos por centros de pesquisa, universidades e empresas, que realizam a ACV dos mais variados produtos e serviços. O Quadro 2 ilustra alguns dos principais *softwares* de ACV no momento.

Quadro 2 – *Softwares* de ACV

Software	Desenvolvido por	Ano	País
SimaPro <sup>1</sup>	PRé Consultants	1990	Holanda
TEAM <sup>2</sup>	Ecobilan Group	1992	França
GaBi <sup>3</sup>	Universidade de Stuttgart e PE International	1992	Alemanha
Umberto <sup>4</sup>	Universidade de Heidelberg e IFU	1994	Alemanha
BEES <sup>5</sup>	NIST	1994	Estados Unidos

Fonte: (<sup>1</sup>) Simapro (2011); (<sup>2</sup>) Ecobilan Group (2012); (<sup>3</sup>) PE International (2012); (<sup>4</sup>) IFU (2012); (<sup>5</sup>) NIST (2012)

### 2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICA

Devido à posição que o setor da Construção Civil possui na discussão da sustentabilidade, uma das estratégias de implementação deste conceito é utilizar abordagens por ACV com o intuito de se implantar melhorias nos processos e serviços. Devido ao caráter complexo da ACV, em alguns casos é realizado um recorte, analisando apenas a parte energética. O estudo do ciclo de vida energético dos materiais se torna essencial, na medida em que o consumo de energia durante o ciclo de vida das edificações é tão intenso.

É denominada Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) a abordagem de análise energética na Construção Civil pelo ciclo de vida de edificações (TAVARES, 2006). Qualquer avaliação abrangente do consumo de energia em edifícios precisa considerar todo o ciclo de vida do edifício, que pode ser dividido em três fases: fase de pré-uso (energia embutida), fase de uso (energia operacional) e fase de pós-uso (demolição ou possível reciclagem e reuso). A intensidade de energia consumida na primeira fase para a produção de edifícios e



dos seus componentes cresceu dramaticamente com a industrialização (HUBERMAN e PEARLMUTTER, 2008).

Uma ACVE pode ser utilizada com o propósito de comparar o consumo energético de habitações com diversas tipologias ou para demonstrar os benefícios de um projeto que otimiza o uso de energia operacional. Em climas frios, a utilização de materiais de isolamento térmico causa um aumento na energia embutida e na energia total consumida ao longo do ciclo de vida de uma edificação, no entanto, a utilização desta técnica reduz o consumo de energia operacional (TAVARES, 2006).

Uma considerável quantidade de energia é empregada durante o processo de manufatura e transporte de vários materiais de construção. A conservação de energia tornou-se importante no contexto de limitar a emissão dos gases que provocam o efeito estufa e de reduzir os custos dos materiais. A seleção de materiais e tecnologias para a Construção Civil deveria satisfazer as necessidades sentidas pelo usuário, assim como as necessidades desenvolvidas pela sociedade, sem causar impactos ambientais (REDDY e JAGADISH, 2003).

### **2.3.1 Conceito de energia embutida**

Encargos ambientais incluem a energia embutida de cada material e as emissões adicionadas ao meio ambiente de cada processo do ciclo de vida do material. A energia embutida é a energia confinada em um produto e é um importante parâmetro para a comparação de materiais ou produtos em termos ambientais (ABEYSUNDARA, BABEL e GHEEWALA, 2009).

A energia embutida em um produto compreende a energia necessária para a extração, transporte e refino das matérias-primas dos materiais, e em seguida, para a fabricação de componentes e montagem do produto (TRELOAR *et al.*, 2001).

O cálculo da energia embutida de um material exige o conhecimento de como a energia foi mensurada, sendo que a energia pode ser medida como energia final ou primária. A energia final refere-se à quantidade que realmente foi utilizada em uma edificação, como por exemplo, a quantidade de eletricidade utilizada e registrada em uma

conta de energia elétrica. A energia primária refere-se à quantidade de energia empregada na produção de uma determinada quantidade de energia fornecida. Por exemplo, para a produção de eletricidade, utiliza-se combustão do gás para a movimentação das turbinas de uma usina de energia elétrica. Como os geradores não são 100% eficientes, o conteúdo de energia do gás queimado é maior do que aquele contido na eletricidade gerada, ou seja, para cada unidade de eletricidade final a um consumidor, foi empregada uma quantidade superior de energia primária (ROAF, FUENTES E TOMAS, 2006).

### **2.3.2 Métodos de análise de energia embutida**

Em uma edificação a energia embutida pode ser obtida através de quatro métodos: análise de processo, análise estatística, análise por matrizes insumo x produto e análise híbrida. A análise de processo é baseada em uma análise detalhada de todas as etapas de um processo de fabricação, discriminando os consumos diretos e indiretos de cada etapa. a análise estatística é realizada a partir de estatísticas de fábricas, setores industriais e órgãos do governo sobre os consumos energéticos dos produtos ou categorias. A análise por matrizes insumo x produto relacionam os resultados financeiros de setores da economia, definindo o fluxo de moeda entre eles. Por fim, a análise híbrida integra as vantagens dos métodos disponíveis e reduz as incertezas, agrupando duas outras análises, como a de processo e a estatística (TAVARES, 2006).

### **2.3.3 Níveis de análises energéticas**

Devido à necessidade que havia na década de 1970 por uma metodologia na análise energética, o *International Federation of Institutes for Advanced Studies* (IFIAS) em Estocolmo, organizou o *Workshop on Energy Analysis* em agosto de 1974. Neste *workshop* 20 cientistas de 9 países trabalharam para a organização de uma metodologia consistente. Atualmente este evento é conhecido como *IFIAS Convention*. Foi decidido que as unidades energéticas seriam expressas em MJ/kg ou em GJ/t e foi sugerido que 4 níveis limites poderiam ser desenhados para a maioria dos materiais, conforme ilustra a Figura 2. O primeiro nível contém apenas as entradas de energia direta, como energia elétrica e combustíveis fósseis. O segundo nível se concentra na aquisição de energia, como extração,

conversão e distribuição da energia direta do primeiro nível. O terceiro nível adiciona os requisitos energéticos dos bens de capital, como máquinas, construções, meios de transporte, etc. O quarto nível concentra as máquinas que produzem os bens de capital (IOPSCIENCE, 1976).

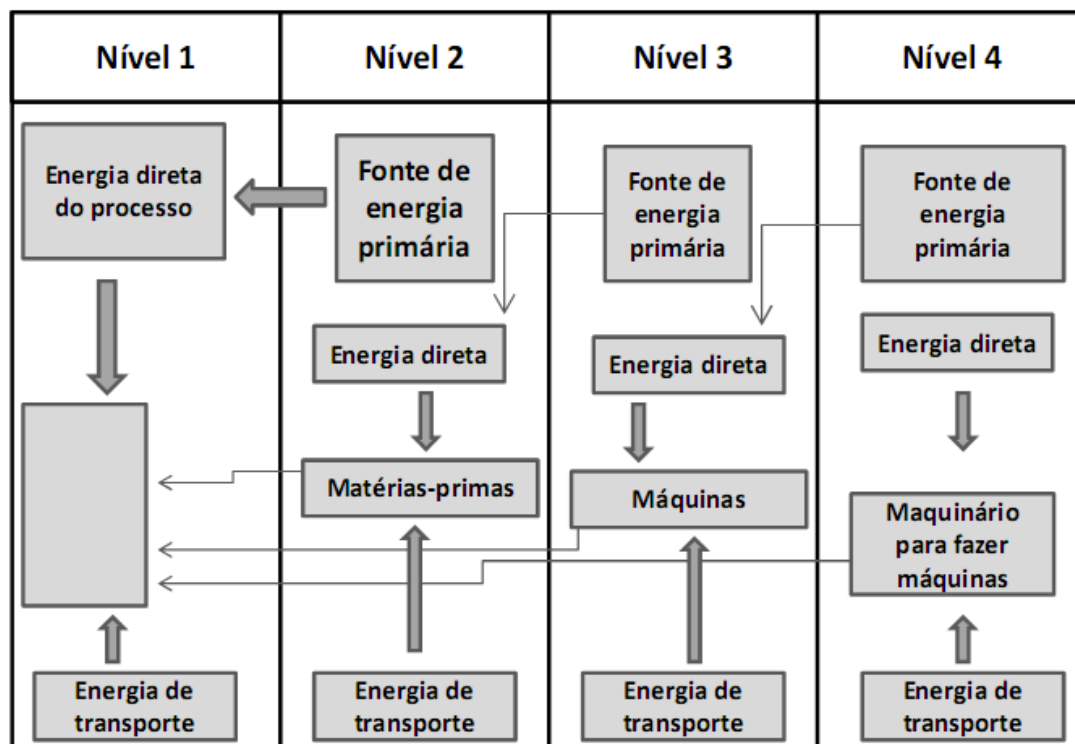


Figura 2 - Níveis energéticos segundo IFIAS, 1974

Fonte: Adaptado de WILTING (1996)

#### 2.3.4 Balanço Energético Nacional

Anualmente é divulgada a contabilidade relativa à oferta e ao consumo energético brasileiro, através do BEN – Balanço Energético Nacional. O documento atualmente elaborado pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética – e divulgado pelo Ministério de Minas e Energia contempla as operações relacionadas à exploração e à produção de recursos energéticos primários, à conversão em formas secundárias, à distribuição e ao uso final da energia, contabilizando o consumo energético dos diversos setores econômicos. São fontes primárias: petróleo, gás natural, carvão, energia hidráulica, urânio, lenha e produtos

da cana. As fontes secundárias são os produtos destinados aos setores de consumo, como: óleo diesel, gasolina, GLP, querosene, coque de petróleo, coque de carvão mineral, lenha, entre outras (BEN, 2011). O BEN apresenta indicadores e análises para as principais fontes energéticas: petróleo, gás natural, energia elétrica, carvão mineral, energia eólica, biodiesel e produtos da cana, conforme ilustrado pela Figura 3.

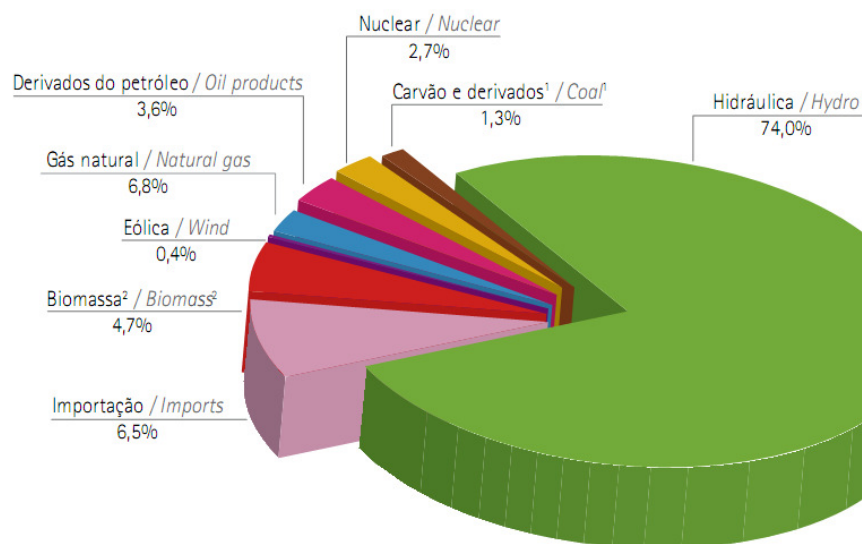


Figura 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte, 2010.

Fonte: BEN (2011)

A unidade básica adotada na composição do balanço (BEN, 2011) é o tep – tonelada equivalente de petróleo – por expressar um valor físico e estar relacionada a um energético de expressão importante. O valor de referência do petróleo é o de 10.000 kcal/kg e os fatores de conversão são determinados através dos poderes caloríficos inferiores das fontes energéticas.

## 2.4 DIÓXIDO DE CARBONO

No Brasil, 84% da geração elétrica doméstica têm origem hidráulica. Em 2007 o país produziu cerca de 374 TWh, sendo este valor 11,7% do total mundial. Esta condição faz com que o país apresente uma taxa de emissão de dióxido de carbono por fontes energéticas de 1,47 t CO<sub>2</sub>/tep, que pode ser considerada baixa em comparação com a média mundial, de

2,41 t CO<sub>2</sub>/tep (IEA, 2009). O Quadro 3 mostra a quantidade de carbono liberado por fonte para a geração de energia.

Quadro 3 - Geração de CO<sub>2</sub> por fontes de energia

<b>FONTE</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/GJ)</b>
Eletricidade	18,1
Óleo combustível	79,8
Gás natural	50,6
GLP	63,3
Outras secundárias de petróleo	72,6
Coque de carvão mineral	91,5
Coque de petróleo	72,6
Carvão mineral	91,5
Carvão vegetal	51
Lenha	81,6
Outras fontes primárias renováveis	0
Outras	35,7

Fonte: Tavares (2006)

A geração de dióxido de carbono através das atividades relacionadas ao setor da Construção Civil é relevante no Brasil. Com exceção da parcela de CO<sub>2</sub> relativa às queimadas, no mínimo a quarta parte desta geração é oriunda da indústria da construção e da operação das edificações, seja do consumo energético ou de reações químicas dos processos de fabricação dos materiais da construção (BEN, 2011).

#### **2.4.1 Carbono**

Quando uma árvore é cortada, o carbono contido nesta é retido pela sua estrutura celular, só sendo liberado para a atmosfera quando a madeira é queimada ou se biodegrada. A utilização de madeira na construção armazena grandes quantidades de carbono por longos períodos de tempo. O manejo sustentável das florestas garante as propriedades de retenção de CO<sub>2</sub> e as mantém preservadas. Na medida em que as florestas vão envelhecendo, o carbono retido pelo crescimento das árvores vai progressivamente diminuindo (MARQUES, 2008). A Figura 4 ilustra o ciclo do dióxido de carbono, com ênfase na Construção Civil.

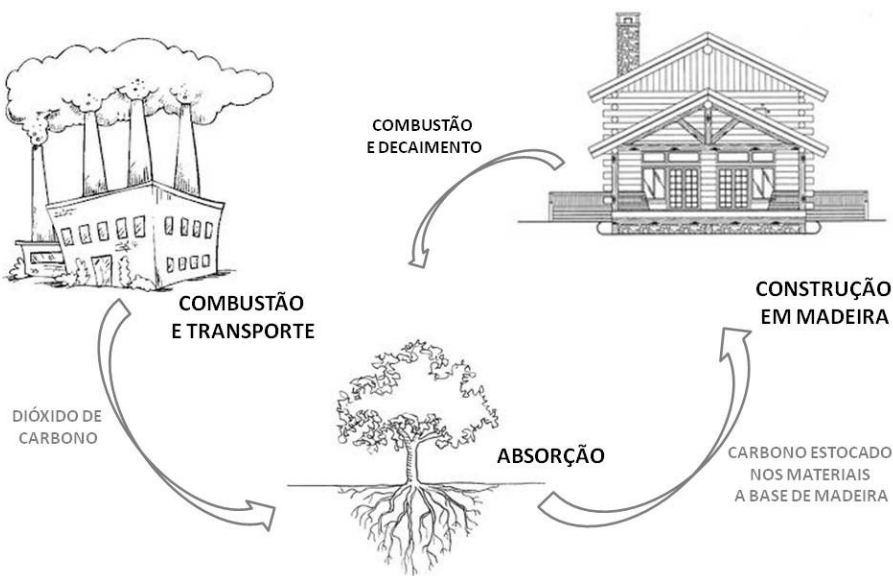


Figura 4 - Ciclo do CO<sub>2</sub>

Fonte: adaptado de Marques (2008)

#### 2.4.2 Mudanças climáticas

A poluição atmosférica possui como principais problemas: o efeito estufa, a chuva ácida e a destruição da camada de ozônio na estratosfera. A atmosfera terrestre possui gases que não são transparentes à radiação de ondas longas e por consequência deste fato a atmosfera aquece mais do que aqueceria na ausência destes gases. Estes gases, conhecidos como gases de efeito estufa, atuam como um cobertor ao redor da Terra, aquecendo esta da mesma maneira que uma estufa permanece quente durante a estação do inverno, de modo a permitir o desenvolvimento de flores e vegetais (GOLDEMBERG E VILLANUEVA, 2003).

O efeito estufa é o produto do aumento artificial das maiores concentrações dos GEE – Gases de Efeito Estufa – na atmosfera terrestre, provenientes de atividades econômicas e industriais. Conforme o UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change* – são GEE o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarboneto (HFCs), perfluorcarbono (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

Com o objetivo de estabelecer compromissos mais rígidos para a redução das emissões dos GEE, foi criado o Protocolo de Quioto, um tratado que resultou da Conferência das partes no Japão em 1997. O compromisso do Protocolo era de que os países então considerados desenvolvidos devem reduzir as suas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis de emissão de 1990. Este entrou em vigor em 2005, com a inclusão da Rússia. Apesar de 141 nações terem aderido ao protocolo, o maior emissor de GEE global, os Estados Unidos, omitiram-se da ratificação do mesmo (MCT, 2011).

Segundo o PNUMA (1995), as mudanças climáticas são as alterações diretas ou indiretas no clima, atribuídas às atividades de origem antropogênica, que alteram a composição da atmosfera mundial e que se somam àquelas provocadas pela variabilidade natural do clima observada ao longo do tempo.

Este aquecimento global se encontra relacionado às mudanças climáticas, sendo que ambos são uma resposta à queima de combustíveis fósseis, à forte industrialização global, ao desmatamento e à degradação do solo (GOLDEMBERG E VILLANUEVA, 2003).

As plantas possuem a capacidade de capturar e fixar carbono, que associadas a outros elementos, resultam em complexas formações, como as florestas. Essas florestas figuram como um tipo exclusivo dentre os vegetais, devido à sua habilidade de capturar e fixar carbono por décadas, sendo que os produtos oriundos de suas madeiras possuem estoque de carbono. Dentro dessas florestas, uma árvore pode ter um período de vida de décadas e até de séculos, porém após a fase de maturidade destas, a capacidade de captura e fixação do carbono é bem menor do que aquela verificada em fases anteriores (CORTE, 2005).

O impacto ambiental embutido do material costuma ser indicado pelas emissões de dióxido de carbono. Este indicador é denominado Potencial de Aquecimento Global (PAG) e é medido em gramas equivalentes de CO<sub>2</sub> por quilograma do produto (MATEUS, 2004). A madeira laminada possui um PAG de 277 g/kg, sendo este valor 4,2 vezes maior do que o do cimento e 40 vezes menor que o do alumínio reciclado (BERGE, 2000 *apud* MATEUS, 2004). O Quadro 4 mostra o PAG de uma série de materiais utilizados no setor da Construção Civil.

Quadro 4 - PAG dos materiais

MATERIAL/PRODUTO	PAG (g eq CO <sub>2</sub> /kg)
Aço (100% reciclável)	557
Alumínio (50% reciclável)	11102
Cimento estrutural	65
Bloco cerâmico	190
Argamassa a base de cimento Portland	98
Cobre	5234
Madeira não-tratada	116
Madeira lamelada colada	116
Pedra de granito	8
Poliestireno expandido extrudido	1650
Vidro	569

Fonte: Marques (2008)

A madeira é um captador e reservatório natural do carbono. É um material que requer pouca energia para a sua transformação em produtos finais e pode ser facilmente reutilizado e reciclado. A utilização de madeira certificada em projetos de longa vida útil, como é o caso da Construção Civil, contribui para o sequestro de carbono ao mesmo tempo em que evita a utilização de outros materiais energointensivos na sua fabricação. Para cada metro cúbico de madeira aplicada, estima-se que 250 kg de carbono sejam fixados, o equivalente a cerca de 1 tonelada de dióxido de carbono retido (SANTOS, 2007).

## 2.5 MADEIRA

Zenid (2009) propõe uma rerepresentação da madeira à sociedade atual como uma alternativa mais ambientalmente adequada a materiais como metais, plásticos, compostos de cimento e outros, que durante o seu processo produtivo utilizam como fonte de energia a própria madeira e, durante os seus ciclos de vida, impactam o meio ambiente de maneira incomparável.

Quando em bom estado de conservação, produtos à base de madeira podem ser facilmente reutilizados, como por exemplo: portas e janelas de dimensões padrão podem vir a ser reutilizadas em outras construções. Caso o estado de conservação do material não seja o melhor, este ainda pode ser valorizado energeticamente (MATEUS, 2004). Segundo Marques (2008), a madeira é ambientalmente sustentável, sendo considerada o único



material de construção reciclável, renovável e biodegradável, além de ser um dos produtos que despende menor energia para a sua transformação. Devido às suas características e relativa abundância, a madeira sempre foi um material de construção utilizado pelo ser humano. Em países como Noruega, Suécia, Canadá e Austrália a madeira fundamenta 90% da construção habitacional.

Para a produção de madeira é necessária a ocupação de uma área de terra, utilização de fertilizantes e consumo de energia em equipamentos para a preparação do solo e derrubada das árvores. Como material construtivo, requer tratamentos à base de preservantes contra pragas. Se o manejo da floresta for realizado de maneira mal planejada, pode acarretar a supressão da fauna e flora local (TAVARES, 2006). É necessário que o setor da Construção Civil, o maior consumidor de madeira tropical no Brasil, se conscientize de que não somente a qualidade e os custos da madeira são importantes, mas também a origem da mesma (ZENID, 2009). No Quadro 5 estão listados alguns produtos em madeira e suas respectivas durabilidades em anos.

Quadro 5 - Durabilidade dos produtos em madeira

<b>MATERIAL</b>	<b>MITHRARATNE; VALLE (2004)</b>	<b>NAHB (2007)</b>
Aglomerado/OSB		60
Estacas de madeira	100	
Painéis de madeira	30	
Parquet de madeira e tacos	50	
Piso de madeira		30
Piso de madeira natural		100
Teto madeira		30

No Quadro 6 ilustra-se o uso de madeira amazônica na Construção Civil no Estado de São Paulo. Nota-se que o uso em estruturas de cobertura representa metade da madeira consumida. Para esta função são empregadas peças como vigas, caibros, pranchas e tábuas e destinam-se principalmente à construção horizontal.

Quadro 6 - Usos de madeira amazônica na construção civil do Estado de São Paulo

Usos na Construção Civil	Consumo	
	1000 m <sup>3</sup>	%
Estrutura de Cobertura	891,7	50
Andaimes e formas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
Total	1783,3	100

Fonte: adaptado de Sobral *et al.* (2002)

A madeira é um recurso com uma série de vantagens de ordem ambiental, social e econômica. É um material reciclável onde a serragem vira carvão prensado e outras partes das sobras serão transformadas em cercas, caixotes, escoramentos, embalagens e móveis (ESTUQUI FILHO, 2006).

### 2.5.1 A casa de madeira

Segundo Batista (2011) o imigrante não encontrou no Brasil os mesmos materiais existentes no seu país de origem para a confecção de suas moradias. A adaptação das técnicas construtivas destes imigrantes, provenientes de países europeus e asiáticos, com o ambiente natural e diversificado, resultou em uma arquitetura rica e singular. Após a segunda metade do século XIX, segundo Batista (2007), surgem no cenário paranaense as construções em madeira, devido a três fatores:

- i. Grande reserva de araucária – madeira de alta qualidade;
- ii. Grande quantidade de mão de obra qualificada;
- iii. Industrialização da extração de madeira.

Enquanto que na década de 1930, o concreto armado, o aço e o vidro figuravam nos trabalhos de arquitetos modernistas brasileiros, como Oscar Niemeyer, no interior do Brasil, ocorria uma produção arquitetônica fortemente ligada a madeira, como principal elemento construtivo (SILVA e INO, 2008).

A tradição das habitações construídas em madeira no Estado do Paraná veio com os imigrantes poloneses (estrutura de casa de troncos na posição horizontal), japoneses (presença de sambladuras e madeira sem beneficiamento), alemães (estrutura de madeira

com vedação do tipo pau a pique, taipa e troncos encaixados), italianos (estrutura em pilar e vigas de madeira com fechamento em tábuas) e ucranianos (SILVA e INO, 2008). O primeiro período foi marcado por edificações simples, com status provisório, com exceção dos japoneses e alemães que caracterizaram suas habitações com referências ao estilo arquitetônico das suas terras de origem. O período da arquitetura das habitações em madeira perdurou no estado de 1930 a 1970. Esta arquitetura era mal vista por parte do poder público – existia uma preocupação com incêndios nas casas – além do fato de que a madeira era considerada um material acessível e de baixo custo (ZANI, 2003). A Figura 5 mostra uma casa de madeira construída por imigrantes no estado do Rio Grande do Sul.



Figura 5 - Casa de Madeira

Fonte: Berriel (2009)

No sul do Brasil a madeira se faz presente nos muxarabis, nos assoalhos, nas tesouras, terças, caibros e ripas dos telhados, ocupando raras vezes o papel de estrutura ou vedação. Ainda persiste a herança portuguesa das alvenarias, o que faz com que se olhe com desconfiança as obras secas – montadas sem a utilização de argamassas – como se lhes

faltasse certa solidez. Apesar de a arquitetura em madeira apresentar um rico repertório mundial, no Brasil esta se faz pouco expressiva devido à deficiente concepção dos projetos. A pouca familiaridade com o material tem como frequente resultado habitações com baixa qualidade tecnológica e construtiva (BERRIEL, 2011).

Ao lançar um olhar para o passado, Batista (2011) visualiza uma arquitetura singular, que surgiu de sincretismo construtivo que uniu a tecnologia dos imigrantes com a abundante matéria prima existente nas terras paranaenses que ainda iam ser desbravadas. A grande oferta da madeira, aliada à necessidade de novas moradias e à existência de uma mão de obra qualificada, fomentou o surgimento destas habitações. Como resultado do surgimento dessas, ocorreu a destruição desenfreada dos recursos naturais, que caracterizou o século XX como a extinção do ecossistema da Araucária. Ao olhar para o presente, o autor verifica que a casa de madeira curitibana está desaparecendo da paisagem urbana da cidade, restando poucos exemplares que resistiram as pressões imobiliárias. O autor vislumbra a possibilidade de, no futuro, ocorrer a inserção de uma nova arquitetura em madeira, tanto em Curitiba, quanto no Brasil.

O ressurgimento, ainda que tímido, da habitação em madeira brasileira ocorreu a partir da década de 1990 e deveu-se, em parte, à sua relação com o meio ambiente, sendo considerado como o elemento estrutural que menos consome energia. A madeira é um material de construção adaptável a terrenos críticos, instáveis ou de difícil acesso, por ser leve e necessitar de pequena ancoragem ao solo. Ao se utilizar uma estrutura de madeira para uma ampliação vertical, a construção com este material é uma solução mais econômica e mais facilmente realizável. Considerada como uma solução “seca”, o material diminui os riscos de sobrecarga (sendo cinco vezes menos pesado que o concreto). A madeira como material de construção atua de maneira positiva frente a questões como o aquecimento global, o esgotamento das reservas fósseis e a degradação do meio-ambiente (CASTRO, 2008).

Berriel (2011) aponta que muitos fatores que geram desconfiança com relação ao uso da madeira, como durabilidade, conforto térmico e acústico e segurança em relação ao fogo são, em essência, um reflexo direto do projeto arquitetônico. Quanto ao aspecto de

conforto, Hilgenberg Neto (2003) relata que os processos construtivos usados em alguns países europeus, que empregam paredes duplas, com um espaço entre estas, possibilitam um incremento significativo no desempenho, quando se tornar necessário, ao se aplicarem materiais isolantes térmicos e acústicos no espaço confinado.

A madeira se adapta bem aos processos de pré-fabricação, possibilitando obras secas e de rápida montagem. Ao ser colocada nas estruturas, dispensa o tempo de cura necessário para que pilares, vigas e outros elementos a base de concreto adquiram resistência. Por permitir gerar construções mais leves – ao apresentar uma boa relação entre peso e resistência mecânica – solicitam menos das fundações, gerando assim um impacto ambiental menor em comparação com outros materiais de construção (BERRIEL, 2011).

No Brasil, a Construção Civil como indústria envolve grandes oligarquias, como o aço, concreto e plástico. A madeira de reflorestamento é pouco utilizada devido à baixa produção de madeira de qualidade, à falta de informação dos dirigentes públicos e ao estigma sofrido pelo *Pinus Elliotis* e *Pinus Taeda*, como madeira suscetível ao ataque de microrganismos (LAROCA, 2002).

Observa-se que a utilização da madeira como elemento construtivo sempre se fez presente quando houve a necessidade de se edificar moradias de forma rápida, tanto para imigrantes, quanto para a elite. Porém, ao se analisar a história oficial da Arquitetura Brasileira é feitas poucas referências às habitações em madeira. Não raro, justifica-se que devido a colonização lusitana e ao lobby das cimenteiras, adotou-se como sistema convencional no Brasil a estrutura de concreto e a vedação em alvenaria. Porém é necessário abordar que a colonização brasileira foi formada por outros povos além do lusitano e que a indústria cimenteira só se organizou no país a partir do século XX. Portanto, se faz necessária a compreensão da evolução no país dos sistemas construtivos em madeira, para que se possa dimensionar os futuros rumos deste material na indústria da Construção Civil (SILVA e INO, 2008).

#### 2.5.2 Manejo florestal

As florestas que são plantadas com o objetivo de fornecer matéria-prima para a manufatura de madeira serrada, painéis e móveis devem possuir um projeto de manejo

previamente aprovado pelo IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. As formas de exploração das florestas são:

- (1) manejo florestal com exploração planejada e controlada da mata nativa;
- (2) exploração extrativista de espécies com valor de mercado, sem projeto de manejo.

O manejo das florestas plantadas ou nativas é considerado a forma correta de utilização dos recursos naturais, pois parte do princípio de que a previsão da utilização da madeira permite a recomposição da floresta de uma determinada área, alinhando-se assim com o princípio de sustentabilidade. Para o manejo de florestas nativas serem considerado mais sustentável ou menos ambientalmente impactante, este deve pressupor uma extração de madeira de baixo impacto, o qual visa minimizar os danos ecológicos e reduzir as perdas de madeira. A aplicação de técnicas de silvicultura é de fundamental importância a fim de se manter sua produção contínua e, ao mesmo tempo, preservar a fauna e minimizar os impactos advindos da exploração, para que a madeira se perpetue para as futuras gerações. O processo que avalia e oficializa a prática do manejo florestal sustentável é a certificação florestal. Consistem na avaliação objetiva das operações envolvidas no manejo das florestas e seguem normas e/ou padrões que obedecem a princípios e critérios aceitos internacionalmente, porém estes devem estar sempre adaptados às condições locais (BENTES-GAMA, 2008).

Os selos que certificam a origem da madeira devem atestar que a produção é ambientalmente adequada, ou seja, assegurar que a extração de árvores nativas e reflorestadas segue um plano de manejo sustentável, com baixo impacto ambiental e conscientização social. No Brasil, existem dois sistemas que certificam o manejo adequado das florestas, o FSC Brasil – *Forest Stewardship Council* – e o Cerflor – Sistema de Certificação Florestal Brasileiro do Inmetro. A Figura 6 ilustra o selo da FSC Brasil.



Figura 6 - Selo FSC

Fonte: FSC Brasil (2011)

O FSC Brasil, também conhecido como Conselho Brasileiro de Manejo Florestal, é uma organização não governamental, independente e sem fins lucrativos. A certificação é um processo voluntário em que é realizada a avaliação de um empreendimento florestal por uma organização independente, e então é verificado se os princípios e critérios do FSC estão sendo cumpridos. O processo pode ser resumido em quatro macro etapas:

- Contato inicial - A operação florestal entra em contato com a certificadora;
- Avaliação - Consiste em uma análise geral do manejo, da documentação e da avaliação de campo. O objetivo desta etapa é preparar a operação para receber a certificação. Nessa fase são realizadas as consultas públicas, quando os grupos de interesse podem se manifestar.
- Adequação - Após a avaliação, quando houver não conformidade, a operação florestal deve se adequar aos critérios.
- Certificação da operação - A operação florestal recebe a certificação. Nessa etapa, a certificadora elabora e disponibiliza um resumo público.
- Monitoramento anual - Após a certificação é realizado pelo menos um monitoramento da operação ao ano.

O Conselho Brasileiro de Manejo Florestal não emite certificado, sendo que o processo da certificação é todo conduzido pela certificadora. Cabe às certificadoras avaliar operações de manejo florestal para conceder o uso do selo FSC Brasil nos produtos, e auditar operações certificadas. São inúmeros os exemplos de aplicações de madeira de

reflorestamento como um material promissor na Construção Civil em países desenvolvidos, tanto por sua relevância no contexto ambiental, quanto por sua qualidade (FSC Brasil, 2011).

O Cerflor é o Programa Brasileiro de Certificação Florestal, que foi lançado pelo Fórum de Competitividade da Cadeia Produtiva de Madeira e Móveis em 2002. A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – uma entidade não governamental e sem fins lucrativos, é o organismo responsável pelo processo de elaboração e revisão das normas do Programa Cerflor (INMETRO, 2011). A Figura 7 ilustra o selo da Cerflor.



Figura 7 – Selo Cerflor

Fonte: INMETRO, 2011.

O emprego da madeira reflorestada de manejo sustentável permite uma rápida aquisição de matéria-prima para a produção industrial, tendo como impacto inicial a preservação de áreas com espécies nativas que são alvo da indústria madeireira (SANTOS e AGUILAR, 2007).

### 2.5.3 Produtos florestais

Os produtos florestais são constituídos por derivados de madeira e produtos não madeiráveis, como: borracha, resina, palmito, nozes, frutos e mel. No Brasil os produtos madeiráveis respondem por cerca de 4% do PIB, sendo que estes podem sofrer processamento primário – toras, cavacos, serrados e lâminas – e processamento secundário – polpa de celulose, papel, aplainados, pisos, móveis, compensados e revestimentos – sintetizados conforme o Quadro 7 (ALMEIDA e BRUNSTEIN, 1998).



A Figura 8 mostra um resumo do fluxo dos produtos florestais globais. Os números indicam a massa ou volume de cada produto. O corte de árvores no mundo é equivalente em termos médios a 0,7 m<sup>3</sup> por pessoa por ano.

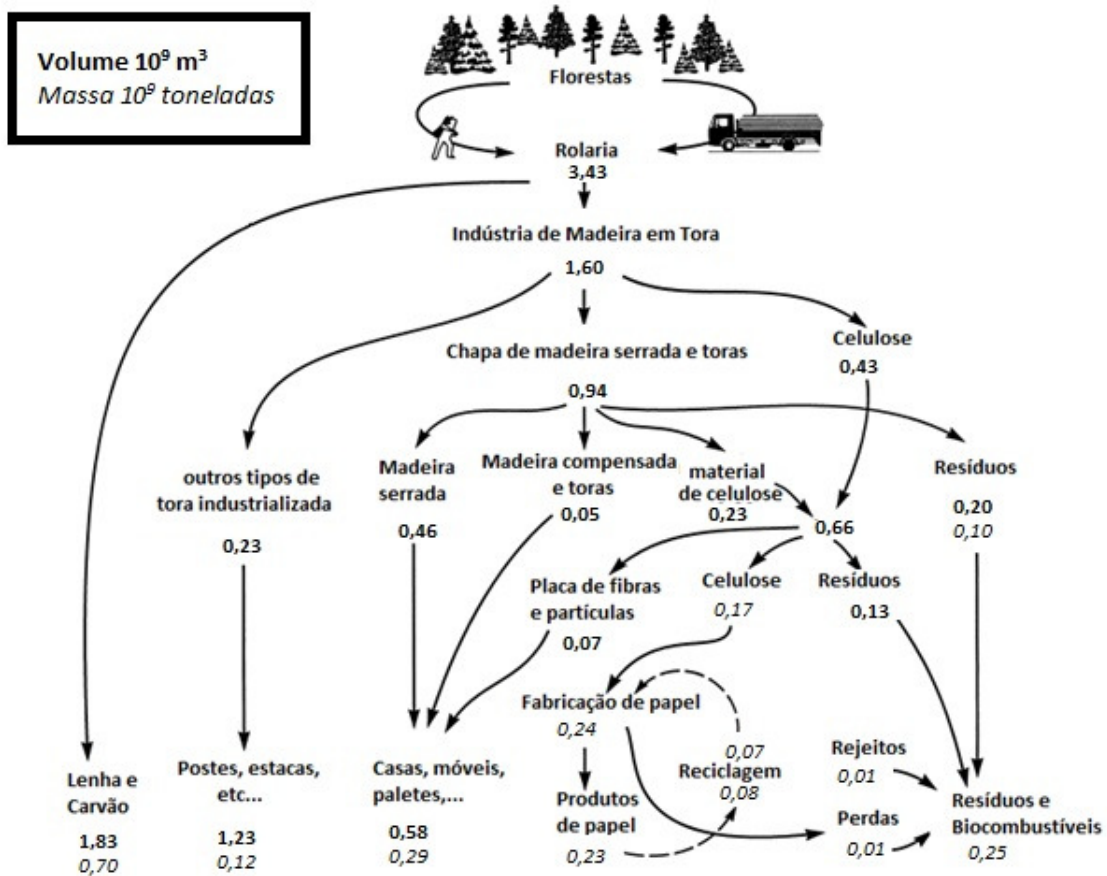


Figura 8 - Fluxo dos produtos florestais

Fonte: adaptado de Buchanan e Levine (1999)

Quadro 7 - Produtos florestais primários e secundários

SEGMENTO DAS TORAS	PRODUTOS PRIMÁRIOS	PRODUTOS SECUNDÁRIOS
Fino	Cavacos Lenha	Polpa Papel reconstituído Aglomerado MDF OSB
Médio	Serrados	Aplainados Molduras Pisos Dormentes Artefatos
Grosso	Lâminas	Compensados Painéis Revestimentos

Fonte: adaptado de Almeida e Brunstein (1998)

#### 2.5.4 *Wood Frame*

O processo *Wood Frame* é muito utilizado em vários países, em especial nos Estados Unidos, onde se caracteriza como a solução convencional para moradias. Uma das principais características do processo construtivo é a racionalização das etapas, onde o material é encaminhado à obra na sequência que será executado, desde a infraestrutura até a cobertura. As instalações são aplicadas entre as duas faces das paredes, somando este fato à quase não existência de sobras, o que torna a obra mais limpa do que a execução convencional. A madeira utilizada deve ser de espécies reflorestadas disponíveis no Brasil e que dispões de vasta tecnologia e experiência por parte da comunidade florestal paranaense. Como o peso das construções é relativamente mais baixo, a resistência das peças estruturais de madeira não precisa ser elevada, o que vai ao encontro dos atributos das coníferas (HILGENBERG NETO, 2003).

As paredes são pré-montadas através de painéis constituídos dos montantes e peças da base e do topo. A montagem é feita com a fixação na base e amarração lateral entre painéis paralelos e transversais. Na próxima fase, fixam-se os painéis externos aos montantes. O fechamento interno só é feito após as instalações elétricas e hidráulicas terem

sido executadas. A instalação dos dutos hidráulicos é passante pelos montantes e a fiação elétrica não requer eletrodutos.

### **2.5.2 OSB**

Os painéis OSB foram dimensionados com o objetivo de suprir a resistência mecânica exigida para fins estruturais, característica esta que não é encontrada nem nas chapas de madeira aglomerada e nem nas chapas de MDF. Estes painéis são formados por camadas de partículas ou de feixes de fibras com resinas fenólicas, que são orientados em uma mesma direção e então prensados para sua consolidação. A resistência destes à flexão estática não é tão alta quanto a da madeira sólida, porém se iguala à dos compensados estruturais. O OSB possui a elasticidade da madeira aglomerada e um custo mais baixo, por utilizar materiais menos nobres (ZENID, 2009).

O OSB brasileiro é produzido a partir de toras de madeira de florestas de reflorestamento. A Figura 9 ilustra o processo de fabricação do OSB. As toras são descascadas e cortadas em tiras ao longo de sua fibra. Estas são secas, classificadas de acordo com a sua granulometria e misturadas com uma composição de resinas de colagem à prova da água, emulsão parafínica e anti-cupim. Esta composição segue para as formadoras onde serão produzidas as camadas orientadas, que formarão o colchão. Esse entra na prensa contínua de alta temperatura e pressão, onde será formado o *master panel*. Na saída os painéis são cortados em seu tamanho comercial (LP Brasil, 2011).

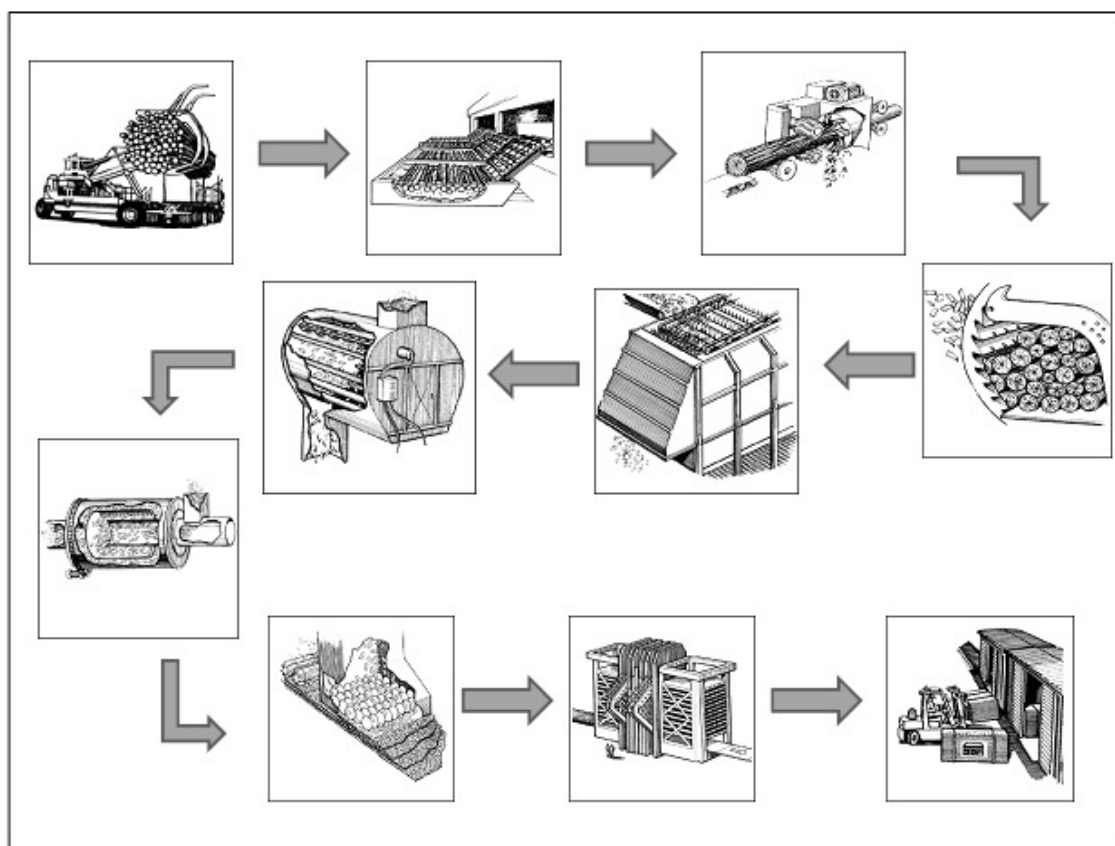


Figura 9 - Processo de manufatura do OSB

Fonte: adaptado pela autora de OSB Guide (2011)

Todo este processo é totalmente automatizado, com o monitoramento de câmeras e computadores.

### 2.5.3 A avaliação do ciclo de vida da madeira

Além da produção da matéria-prima, o manejo florestal cria muitos valores adicionais intrínsecos que possuem um efeito direto no meio ambiental local e global.

De acordo com Mateus (2004), a energia primária dos materiais resulta do somatório da energia consumida durante a extração da matéria-prima, seu transporte e processamento. Quanto mais elaborado for o processamento do material, maior será a sua energia primária. Quando a durabilidade dos materiais não for comprometida e as reservas de matéria-prima o permitam, devem ser utilizados materiais com baixa energia primária,

como a madeira. Como a quantidade de energia embutida em um material ou em um sistema construtivo está relacionada com a massa, geralmente, quanto menor a massa de uma edificação, menor será a quantidade de energia embutida. A construção em madeira é uma construção leve, possuindo assim menor energia embutida em comparação à construção em concreto armado. A Tabela 1 ilustra os valores de energia embutida em alguns produtos de madeira utilizados na Construção Civil.

Tabela 1- Energia Embutida na Madeira

Madeira	EE (MJ/kg)	EE (MJ/m <sup>3</sup> )	Desperdício (%)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Aparelhada seca forno	3,5	2100	15	600
Aparelhada seca ar livre	0,5	300	15	600
MDF	9	5850	15	1000
Laminada colada	7,5	4875	15	650

Fonte: adaptado de Tavares (2006)

Barbosa, Ino e Shimbo (2000) relatam a ACV de um projeto estrutural feito em madeira, aço e concreto. O consumo energético para a produção de madeira é 2,4 e 1,7 vezes menor do que o do aço e concreto, respectivamente. A emissão de CO<sub>2</sub> é 1,45 e 1,81 vezes menor na madeira, do que no aço e concreto.

Petersen e Solberg (2005) mostram um panorama do estado da arte de uma análise quantitativa realizada na Noruega e Suécia de ACV, que compara o impacto ambiental da substituição entre madeira e materiais alternativos locais, com ênfase nas emissões de gases de efeito estufa. A madeira emite menos SO<sub>2</sub> e gera menos resíduos em comparação a materiais alternativos. Por outro lado, a madeira tratada com preservantes pode ter impactos toxicológicos na saúde humana e nos ecossistemas. A quantidade de gases de efeito estufa evitados pela substituição entre madeira e aço está na escala de 36 a 530 kg CO<sub>2</sub> equivalente por m<sup>3</sup>. Já entre a madeira e concreto está entre 93 a 1062 kg CO<sub>2</sub> equivalentes por m<sup>3</sup>, se após o uso a madeira não for destinada para um aterro no fim do seu ciclo de vida.

Em termos de eficiência energética, construções em madeira tiveram um consumo de 44 a 85% menor que construções similares em aço, e de 70 a 87% menor do que

construções similares em concreto (MORKVED e OPDAL, 1990 *apud* PETERSEN e SOLBERG, 2005).

Resultados de uma *survey* indicaram que a produção de piso de pinho consome de 49 a 54% menos eletricidade e de 78 a 80% menos combustíveis fósseis que a produção de vinil e linóleo. Além disso, o piso de pinus tinha as menores emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e COV por ano (JÖNSSON *et al.*, 1995 *apud* PETERSEN e SOLBERG, 2005). O Quadro 8 ilustra o panorama abordado pelos autores, comparando o impacto ambiental da madeira e substitutos.

Quadro 8 - Panorama do estado da arte de ACV de madeira na Noruega e Suécia

AUTOR	ANO	SUBSTITUIÇÃO	ENERGIA	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	RESÍDUOS
Mørkved e Opdal	1990	madeira - aço (esquadrias, telhados, paredes)	+					
Fossdal	1995	madeira - concreto (habitações)	=	+	+	+		
Jönsson <i>et al.</i>	1995	madeira - vinil (piso)	+	+	+	÷	+	+
Jönsson <i>et al.</i>	1995	madeira - linóleo (piso)	+	+	+	÷	+	+
Börjesson e Gustavsson	2000	madeira - concreto (frame)	+					

+, a madeira obteve resultados melhores do que o material com o qual foi comparada;

÷, a madeira obteve resultados piores do que o material com a qual foi comparada;

=, a madeira é similar ao material em comparação.

Fonte: adaptado de Petersen e Solberg (2005)

A construção de um piso em madeira foi comparada com outro em pedra natural no que respeita ao consumo energético e as emissões de gases do efeito estufa. A unidade funcional era de 1m<sup>2</sup> de piso. A análise incluiu a manufatura, substituição e o tratamento dos resíduos dos materiais. A construção do piso em madeira requer 1,6 vezes a energia utilizada na manufatura do piso em pedra natural. Em comparação, a manufatura do piso em madeira causa 1/3 das emissões de gases efeito estufa da manufatura do piso em pedra natural (PETERSEN e SOLBERG, 2002, *apud* PETERSEN e SOLBERG, 2005).

Börjesson e Gustavsson (2000) realizaram uma comparação entre uma edificação com tecnologia *Wood Frame* e uma similar com *Concrete Frame*. A análise incluiu a produção dos materiais, várias alternativas de tratamento dos resíduos, assim como

alternativas para contabilizar a área florestal utilizada para a produção de madeira. O período de duração para a edificação estudada foi de 50 e 100 anos. Os resultados foram:

- A tecnologia *Concrete Frame* precisa de 60 a 80% mais energia na produção;
- Se 50% da madeira de demolição são reutilizadas e 50% são usadas na substituição de combustíveis fósseis, o *Concrete Frame* emite 20 a 77 kg CO<sub>2</sub> equivalente, enquanto 4 kg CO<sub>2</sub> equivalente são evitados com o *Wood Frame*;
- Se a madeira vai para um aterro e o gás do aterro é coletado e utilizado para substituir combustíveis fósseis, o *Concrete Frame* emite 6-23 vezes mais CO<sub>2</sub> equivalentes;

Mithraratne e Vale (2004) descrevem um modelo desenvolvido pela University of Auckland para uma ACV de uma casa individual na Nova Zelândia, baseada nos requisitos de Energia Embutida e de Energia Operacional durante o período de vida útil da edificação. O modelo foi testado em: uma edificação típica neozelandesa, onde as paredes e a superestrutura são de madeira; em uma edificação sem uso de madeira e que utiliza concreto; e em uma edificação super isolada. O impacto ambiental do primeiro modelo é 31% menor do que o do segundo e 9% maior do que o terceiro (devido ao baixo consumo operacional energético).

Werner e Richter (2007) fazem uma revisão da literatura publicada de estudos comparativos de ACV da madeira como material de construção e concluem que:

- Durante a última década se acumulou um considerável conhecimento sobre o impacto ambiental de produtos à base de madeira em comparação com produtos funcionalmente equivalentes, particularmente no Norte e Centro Europeu, na América do Norte e na Austrália. Produtos à base de madeira tendem a ter um perfil ambientalmente favorável em relação a outros materiais destinados à mesma função.
- Particularmente, o consumo de energias não renováveis e a demanda energética acumulada, as potenciais contribuições para o efeito-estufa e a quantidade de resíduos sólidos são geralmente muito menores do que dos produtos concorrentes. Por outro lado, os produtos a base de madeira são associados como portadores de energias renováveis.

- Produtos de madeira impregnados tendem a ser mais críticos com relação aos efeitos toxicológicos e/ou ao *smog* fotoquímico (dependendo do tipo de preservante) do que os produtos equivalentes. A nova geração de preservantes sem metais pesados é uma promissora alternativa com menor impacto ambiental.
- A incineração de produtos de madeira pode causar maiores impactos devidos à acidificação e a eutrofização do que outros produtos, embora a energia térmica possa ser recuperada.
- Materiais como painéis de aglomerado ou placas de fibra de madeira utilizam uma parcela maior de madeira em tora em comparação com produtos de madeira sólida. No entanto, há em geral um alto consumo de energia fóssil associado aos produtos de fibra de madeira, além da necessidade de se adicionar resinas e aditivos.

Segundo Albrecht *et al.* (2008), desde o início das discussões políticas sobre o desenvolvimento sustentável, a madeira e seus derivados se encontram em foco. No entanto, a avaliação dos benefícios ecológicos dos produtos necessita de uma base confiável. É necessária uma visão holística para promover o uso de produtos de madeira, de modo a suprir a necessidade de um mercado global em busca de produtos com potencial ecológico para uma sociedade mais justa. Para apoiar futuras decisões políticas, é válido que informações sobre o potencial ecológico da cadeia produtiva da madeira sejam comparadas às de outras indústrias. A comparação entre o *Wood Frame* e a alvenaria não ocorre da perspectiva de identificar e comparar a equivalência funcional, e sim de mostrar uma alternativa à técnica construtiva tradicional. A Tabela 2 mostra que o potencial de aquecimento global se comporta semelhante à tendência da demanda energética primária.

Tabela 2 - Potencial de aquecimento de diferentes técnicas construtivas

	Técnica construtiva (kg CO <sub>2eq</sub> )		
	Wood Frame	Stell Frame	Alvenaria
Produção e manutenção	198	199	445
CO <sub>2</sub> vinculado à madeira	-238	-9	0
Disposição (potencial de reciclagem)	250	7	43
Disposição (emitido)	-114	-62	0
Total	96	135	488

Fonte: adaptado de Albrecht *et al.* (2008)



## 2.6 Avaliações ambientais no Brasil

No fim da década de 1990, o Centro de Tecnologia da Embalagem – CETEA – desenvolveu o projeto “Análise de Ciclo de Vida de Embalagens para o Mercado Brasileiro” a pedido da Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens PET – ABIPET (SALLES, 2009).

A ABCV – Associação Brasileira do Ciclo de Vida – foi criada em 2002 com o objetivo de coordenar a implantação de um programa de capacitação para consolidação da ACV no Brasil.

Almeida e Brunstein (1998) realizaram um estudo da análise da rotulagem ambiental integrada ao ciclo de vida de produtos florestais. Segundo os autores, os selos de aprovação costumam levar em consideração a análise do “berço ao túmulo” dos produtos avaliados. Os boletins de nota evidenciam valores sobre as distintas variáveis de performance ambiental dos produtos, de maneira a possibilitar ao consumidor a decisão sobre as variáveis que importam para este, como reciclabilidade, consumo energético, emissão de poluentes e sequestro de carbono.

Galdiano (2006) tomou como estudo de caso a elaboração de um Inventário do Ciclo de Vida (ICV) para o papel *offset* produzido no Brasil. O resultado deste estudo consolida os aspectos ambientais considerados significativos para a produção da madeira, a extração da celulose e a fabricação do papel *offset*, sob as condições tecnológicas dominantes no país. Para a produção de uma tonelada de papel *offset*, foram utilizados 1154 kWh e foram emitidos 640,48 kg de CO<sub>2</sub>.

No estudo de caso conduzido por Stachera Júnior (2006), em uma habitação de interesse social da COHAPAR – Companhia de Habitação do Paraná – de 40 m<sup>2</sup>, as emissões de CO<sub>2</sub> dos materiais encontrados foram de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Emissões de CO<sub>2</sub> em uma habitação de interesse social

Material	Consumo/Casa	unidade	CO <sub>2</sub> médio/Casa	CO <sub>2</sub> médio/m <sup>2</sup>
Cimento	2750	kg	2664,41	66,61
Cal	900	kg	707,14	17,81
Aço	135	kg	194,75	4,87
Tijolos/Telhas cerâmicas	5350	unidades	5088,17	127,2
Extração de areia	13,5	m <sup>3</sup>	305,43	7,64
Total			8959,9	224,13

Fonte: Stachera Júnior (2006)

Egas (2008) analisou os pontos de maior e menor sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em vigas laminadas pregadas de madeira de Pinus, nas dimensões ambiental, social, econômica, política e cultural. Os resultados mostram que a utilização da madeira com pré-fabricação pode trazer impactos positivos, por ser renovável e capturar o CO<sub>2</sub> da atmosfera, gerar energia a partir dos resíduos, além de trazer melhorias de qualidade de vida das comunidades. Para que haja um balanço positivo de energia no ciclo de vida, é fundamental que ocorra a utilização dos recursos locais, dado que o transporte de matéria-prima foi o item que mais consumiu energia calorífica devido à queima de combustíveis fósseis.

Salles(2009) apresentou uma análise de emissões de gases de efeito estufa dos dormentes de madeira natural e de madeira plástica no Brasil e na Alemanha, com base nos seus ciclos de vida. O total das emissões do ciclo de vida de dormentes de madeira natural no Brasil e na Alemanha apresenta resultados muito próximos, sendo a diferença de 2.445 t CO<sub>2</sub>e. No caso da madeira plástica, a diferença foi de cerca de 30.000 t CO<sub>2</sub>e. No Brasil, a serraria (29%) e a incineração da madeira ao final do seu ciclo de vida (65%) são os principais emissores de GEE. Na Alemanha a contribuição da serraria é de 37% e a incineração da madeira é de 55%.

Porto *et al.* (2009) estabelecem indicadores de sustentabilidade do uso da madeira de reflorestamento na Construção Civil, baseando-se no método ACV. O maior consumo de energia se encontra na fase de extração e transporte da matéria-prima, em especial pela dispersão espacial e pela distância dos centros de produção aos de consumo. Os autores colocam que a energia utilizada durante o tempo de vida de uma construção é um dos itens

mais importantes para a análise do impacto ambiental neste setor. Concluem que a madeira possui um potencial altamente favorável ao meio ambiente para uso como material da Construção Civil, por demandar baixo consumo energético no seu processo de manufatura, com grande possibilidade de aproveitamento do poder calorífico dos seus resíduos. Salientam ainda que o uso da madeira para produção habitacional deve ser incentivado, como medida estratégica para a diminuição de CO<sub>2</sub> na atmosfera através de um manejo florestal sustentável.

Pereira (2010) aplicou a ferramenta ACV como um parâmetro de rotulagem ambiental, onde os critérios utilizados para avaliação na fase de obtenção da matéria-prima dizem respeito à origem da mesma, sua capacidade de renovação e escassez, ao consumo de energia para obtenção desta e ao transporte da mesma até o local de fabricação dos produtos. Considerando dois componentes arquitetônicos fabricados em madeira de eucalipto: absorvedor sonoro e taco ornamental para assoalho, o estudo de caso teve o objetivo de avaliar o uso de madeira de florestas certificada e sem certificação, além do impacto positivo causado pelo uso de resíduos gerado na fase de manufatura dos objetos. Nos sistemas analisados, a autora constatou que o transporte é a fonte expressiva do maior impacto ambiental. A madeira sem certificação se encontrava a uma distância de 437 km do local de fabricação e a certificada com FSC Brasil de 1.662 km, tornando a utilização de madeira certificada inviável.

Em um momento em que o papel da madeira como elemento construtivo esta sendo revisto, cabe à compreensão deste frente às dimensões da sustentabilidade.

### **3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA**

Este capítulo descreve o estudo de caso, os métodos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa e as etapas dos processos.

#### **3.1 SEQÜENCIA DAS ATIVIDADES**

##### **3.1.1 Revisão bibliográfica**

Em todos os capítulos são utilizadas diversas referências, como periódicos indexados, inventários, dissertações, teses e capítulos de livros, a fim de assim justificar a pesquisa científica.

##### **3.1.2 Seleção da estratégia**

Este estudo de caso tem por objetivo dimensionar a energia e o carbono embutidos nos materiais que compõem uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira e analisar a contribuição do processo de manufatura desta, em termos de energia embutida, no impacto ambiental desta habitação.

Para escolher a estratégia mais adequada, existem três condições: (a) tipo de questões de pesquisa, (b) extensão do controle que o pesquisador possui sobre os eventos e (c) o grau de enfoque. Dentro do estudo de caso, as estratégias secundárias são o levantamento de dados e a análise de arquivos. Ambas as estratégias buscam responder as seguintes questões: “quem?”, “o que?”, “onde?”, “quanto?” e “quantos?”. A análise de dados e as conclusões obtidas encerram o projeto.

A estratégia de pesquisa utilizada pode ser considerada um projeto fixo, com características de projeto flexível. Um projeto fixo funciona como uma ponte entre a pesquisa e a teoria, traduzindo a realidade em variáveis mensuráveis. A estratégia de pesquisa é o estudo de caso descritivo, por este fato esse projeto possui características flexíveis. Um estudo descritivo exige um grande conhecimento prévio da situação, para que o pesquisador possa definir o que é relevante para a coleta de informações. Robson (2002) afirma que atenção e cuidado devem ser dados ao objetivo da pesquisa, à teoria, as questões de pesquisa, aos métodos de coleta de dados e à estratégia de amostragem.

Segundo Yin (2005), o objetivo de se escolher uma estratégia é evitar desajustes exagerados – isto é, quando se planeja utilizar um tipo de estratégia, porém outra é realmente mais vantajosa.

O estudo de caso foi realizado a partir da coleta de dados na empresa que produz casas pré-fabricadas no sistema *Wood Frame* na Cidade Industrial de Curitiba. A análise e interpretação dos dados focaram na análise energética a partir da energia e carbono embutidos.

### **3.1.2.1 Testes de validade**

Supõe-se que um projeto de pesquisa represente um conjunto lógico de proposições, portanto pode-se julgar sua qualidade de acordo com certos testes lógicos. São quatro os testes que vêm sendo comumente utilizados: validade do constructo, validade interna, validade externa e confiabilidade (Yin, 2005).

Para Robson (2002) a validade, de uma perspectiva realista, refere-se à acurácia dos resultados. Alguns problemas podem vir sob o título de confiança e enquanto essa é necessária, não é uma condição suficiente para validade. A falta de confiança pode ocorrer devido a erros da amostra, viés da amostra, erros do observador e viés do observador. Se a confiança for demonstrada, o autor coloca que um bom trabalho de medição será realizado. Yin (2005) afirma que a confiabilidade demonstra que as operações de um estudo, como os procedimentos de coleta de dados, podem ser repetidas, apresentando os mesmos resultados. Um dos objetivos de se utilizar o software SimaPro é estabelecer um sistema confiável que possa ser rastreado e reproduzido. Por isto, optou-se por demonstrar através de figuras, como os dados foram inseridos.

O problema então se torna: isto mede o que se pensa que mede? Ou seja, isto possui validade do constructo (ROBSON, 2002)? Para Yin (2005) a validade do constructo estabelece medidas operacionais corretas para os conceitos que estão sob estudo. Foram utilizadas fontes múltiplas de evidências durante a coleta de dados para validar o constructo e definir os conceitos e métodos de execução do estudo exploratório, através da pesquisa a alguns

bancos de dados para se observar se os valores de energia e carbono embutido seguiam um padrão.

A validade interna estabelece uma relação causal, por meio da qual são mostradas certas condições que levem a outras condições, como diferenciada de relações ilegítimas (YIN, 2005). Como estratégia de validade interna, optou-se por um estudo de caso *in loco*, de maneira que além do acesso aos projetos, também foi possível ouvir o relato de colaboradores que participaram tanto da pré-fabricação, como da montagem das casas. Para o mesmo autor, a validade externa estabelece o domínio ao quais as descobertas de um estudo podem ser generalizadas durante o projeto de pesquisa. Robson (2002) afirma como ameaças à validade externa a seleção da amostra, as configurações (as descobertas podem ser específicas ou dependentes ao contexto onde o estudo se encontra) e o constructo (pode ser específico para a amostra). Para que o projeto tivesse validade externa foram comparados resultados de diferentes projetos de casas pré-fabricadas, evitando assim uma fragilidade na generalização dos resultados.

#### **3.1.2.2 Delimitação**

A fronteira do sistema especifica sobre quais etapas do ciclo de vida será realizada a análise. Selecionou-se a partir da entrada das matérias-primas na fábrica, passando até a produção de uma casa de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema *Wood Frame* produzida na Cidade Industrial de Curitiba. Os dados de implantação, uso e destinação final do produto não estão inclusos no escopo da amostra.

#### **3.1.3 Protocolo de coleta de dados**

##### **3.1.3.1 Fase decisória**

Após o contato inicial com a empresa onde foi aplicado o estudo de caso, foi necessária a escolha do projeto de casa pré-fabricada, pois havia diversas opções, com diferentes componentes e revestimentos internos e externos. Feita a escolha e dimensionado o quantitativo de materiais que compõem a habitação de interesse social pré-fabricada em madeira, iniciou-se a pesquisa em bancos de dados, teses e inventários dos valores de energia e carbono embutidos nos materiais.

Nesta fase, foi determinada a pesquisa documental e os periódicos indexados a serem utilizados, o objetivo e o escopo da pesquisa. Após esta etapa, foi definido que o estudo de caso descritivo seria a estratégia da pesquisa e começou-se a pesquisa bibliográfica. Após o levantamento de dados iniciais, a metodologia de uma análise energética simplificada foi escolhida como ferramenta de avaliação do impacto ambiental.

Optou-se por utilizar dados de energia e carbono provenientes de três fontes: a tese de Tavares (2006), a avaliação do ciclo de vida do OSB (ATHENA, 2008) e o banco de dados inglês ICE (2011), para se atingir o objetivo de dimensionar a energia e o carbono embutidos nos materiais que compõem a habitação de interesse social no sistema *Wood Frame*.

#### **3.1.3.2 Fase construtiva**

Nesta etapa o plano de pesquisa foi construído, se iniciou o levantamento de dados e se preparou o anteprojeto. A fase foi finalizada com a síntese dos dados e fatos. A análise da contribuição do processo de manufatura desta habitação, em termos de energia embutida, no impacto ambiental desta habitação, foi obtida através de dados das ordens de produção dos materiais empregados na casa pré-fabricada, de um laudo técnico do consumo elétrico, dos dados do motor elétrico da destopadeira e dos dados do projeto informados pelo setor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da empresa.

Por o estudo de caso tratar de uma habitação em madeira, decidiu-se calcular o carbono estocado nos materiais da habitação para que se encontrasse o valor de carbono fixado, desta forma, diminuindo este do CO<sub>2</sub> embutido nos materiais da edificação.

#### **3.1.3.3 Fase redacional**

A fase redacional foi iniciada com uma síntese da pesquisa bibliográfica, com o objetivo de fundamentar a metodologia da análise dos dados. Após esta etapa, foi realizada uma análise dos primeiros resultados, conclusões e considerações geradas.

Nesta fase, sentiu-se a necessidade de se comparar a habitação em *Wood Frame* com uma habitação em alvenaria, sistema mais tradicionalmente empregado no Brasil. Após uma pesquisa de publicações nesta área e contato com o principal fornecedor de materiais para a habitação em *Wood Frame*, se chegou ao estudo conduzido por Casagrande Júnior (2011),

que continha um quantitativo de material para uma habitação de interesse social em alvenaria, seguindo o modelo da COHAPAR.

Utilizou-se a mesma metodologia empregada para o levantamento de dados de energia e carbono embutidos na habitação em *Wood Frame*, priorizando sempre que possível o uso da metodologia explicitada em Tavares (2006). Para complementação da avaliação ambiental, foi utilizado um software de avaliação de impacto ambiental.

#### **3.1.4 Softwares**

Foi escolhido o *software* de origem holandesa SimaPro que permite modelar produtos a partir de uma perspectiva de ciclo de vida. Utilizando-se a base de dados Ecoinvent (2012) – que oferece mais de 4000 inventários industriais baseados no ciclo de vida – é possível calcular através do software a pegada de carbono, o impacto ambiental e o GRI – *Global Reporting Initiative* (SIMAPRO, 2011).

O SimaPro é uma ferramenta profissional que contém uma série de métodos de avaliação de inventários de impacto ambiental. O *software* permite a análise comparativa entre produtos com ciclos de vida complexos (EPA, 2009 *apud* SALLES, 2009).

#### **3.1.5 Avaliação do impacto do ciclo de vida**

Como indicadores dos impactos ambientais no ciclo de vida da habitação pré-fabricada, dentro do escopo definido, optou-se pela energia e pelo carbono embutidos no sistema. Será calculada a energia primária embutida no processo, e a partir desta será estimado o carbono embutido no mesmo, conforme a metodologia proposta por Tavares (2006). Nesta metodologia, é considerada a energia embutida nos materiais e a partir do percentual do consumo das fontes primárias, utilizam-se dados do IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – e do BEN – Balanço Energético Nacional. A quantificação do carbono existente na matéria seca está em torno de 50%; logo, o teor de carbono em uma tonelada de matéria seca de madeira é de 50% (MCT, 2006).



### **3.1.6 Interpretação do ciclo de vida**

#### **3.1.6.1 Coleta de dados**

A etapa da coleta de dados se encontra relacionada aos dados técnicos da manufatura do produto e os dados coletados se encontram discriminados no Capítulo 4. A partir de informações fornecidas pela empresa fabricante do produto, de empresas fornecedoras dos componentes, de dados estimados, de dados coletados em *softwares* de ACV, a avaliação ambiental torna-se viável.

#### **3.1.6.2 Incertezas durante a coleta de dados**

Caso não haja fornecimento de algum dado, e a coleta do mesmo não seja possível, os dados são estimados através de médias aritméticas simples, retiradas de inventários e do banco de dados Ecoinvent (2012).

#### **3.1.6.3 Processo de transporte**

Não são consideradas as fases de transporte entre os fornecedores da matéria-prima e dos componentes e a unidade industrial responsável pela manufatura destes.

## **4 ESTUDO DE CASO**

A presente pesquisa tem como estudo de caso uma casa de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema *Wood Frame* produzida na Cidade Industrial de Curitiba.

Este estudo parte da ideia apresentada por Gianetti e Almeida (2006), onde a otimização de processos e o acompanhamento dos passos da fabricação de um produto, levam a um conhecimento profundo do sistema e a uma análise entre as interações da empresa com o meio ambiente.

### **4.1 A HABITAÇÃO PRÉ-FABRICADA EM MADEIRA**

#### **4.1.1 A empresa**

A fábrica e a sede da empresa estão localizadas no bairro CIC – Cidade Industrial de Curitiba – na capital do Estado do Paraná, Brasil.

Além de produzir as casas pré-fabricadas, a empresa também desenvolve, projeta, produz e recicla embalagens industriais em madeira. Fundada em 1988, é certificada segundo as normas ISO 9.001, ISO 14.001 e OHSAS 18.001. Com uma estrutura fabril de cerca de 7000 m<sup>2</sup> de área construída, possui estrutura e capacidade produtiva de 1 casa por dia de 40 m<sup>2</sup>, dependendo do grau de complexidade. O processo produtivo da empresa ocorre nos setores de fabricação de peças e montagem, sendo a programação para execução da produção realizada diariamente, pois existe uma alta rotatividade dos tipos de produtos manufaturados.

#### **4.1.2 A casa**

Foi escolhida para o estudo de caso, uma edificação onde são utilizados perfis leves em madeira na estrutura, contraventados com placas estruturais OSB. O quantitativo de material desta habitação se encontra na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantitativo de material da habitação de interesse social no sistema *Wood Frame*

Item	Material	Peso (kg)
1	Brita	2138,40
2	Concreto	6955,20
3	Pinus	1928,77
4	Smartside	125,44
5	Drywall	574,47
6	OSB	831,17
7	Gesso	1437,70
8	Aço	1097,43
9	Massa corrida	969,00
10	Tinta PVA	19,09
11	Tinta óleo	21,65
12	Tinta latex	5,72
13	Vidro	60,00
14	Telha cerâmica	1887,60
15	Piso cerâmico	290,00
16	Rodapé cerâmico	24,97
17	Cerâmica de revestimento	261,00
18	Rejunte	7,50

Trata-se de uma casa uni familiar fabricada contendo cada uma: uma sala, uma cozinha, um banheiro e dois quartos, com área de 42 m<sup>2</sup> cada, conforme ilustram as Figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 - Habitação pré-fabricada em *Wood Frame* no município de Maringá, Paraná.

Fonte: a partir de imagens da empresa (2011)

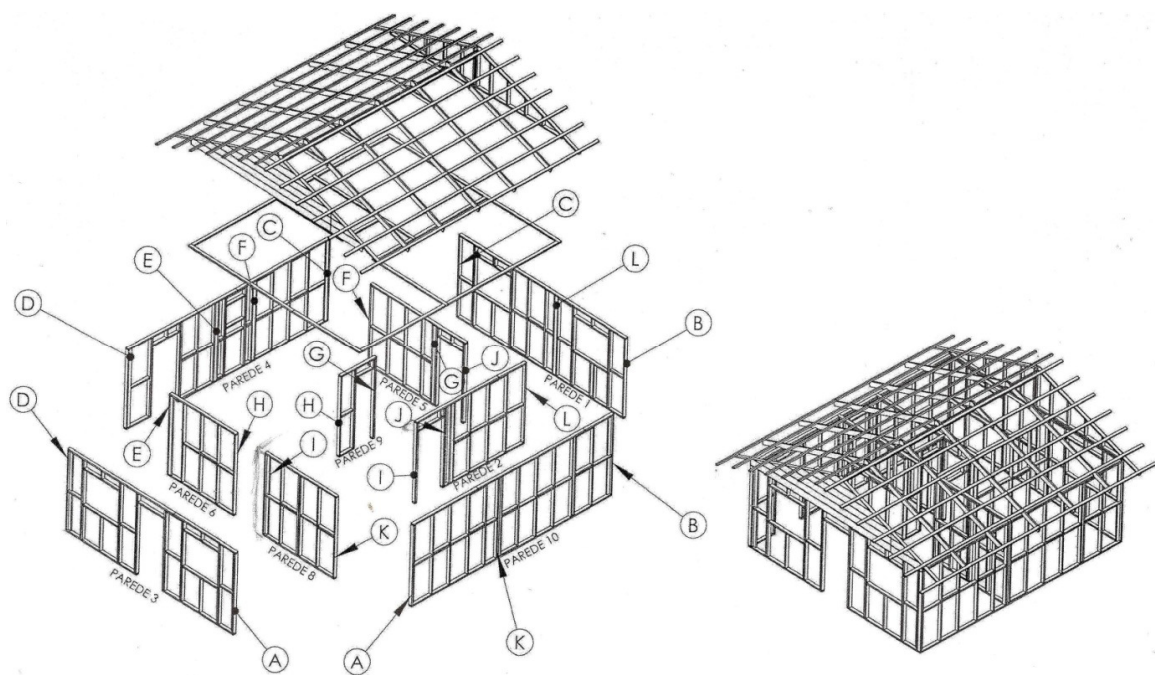


Figura 11 - Estrutura *Wood Frame* da habitação pré-fabricada

Fonte: empresa (2011)

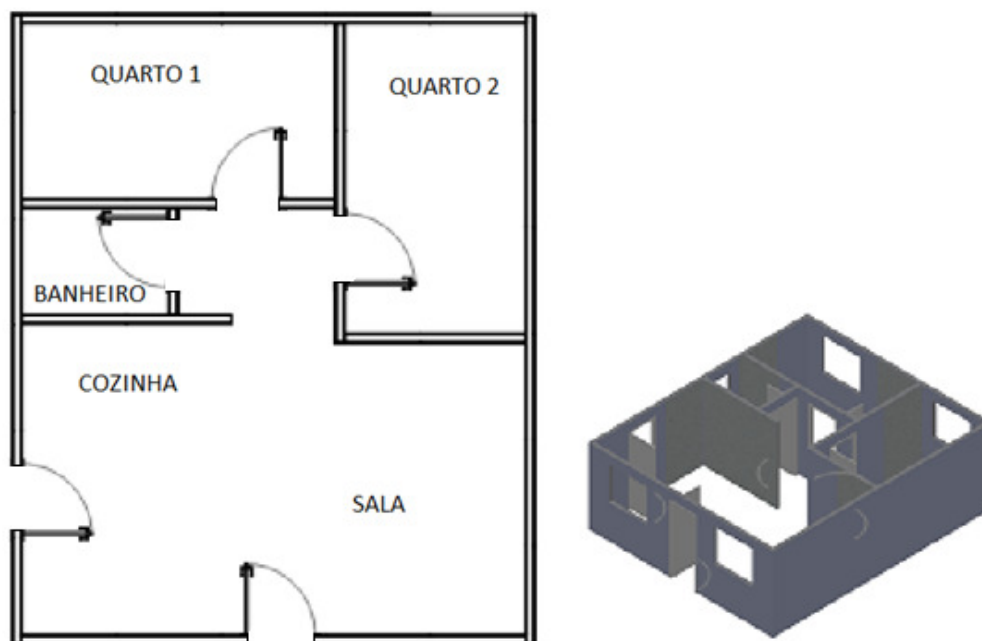


Figura 12 - A habitação pré-fabricada

Fonte: a partir de imagens da empresa (2011)

O sistema *Framing* utiliza uma estrutura de perfis leves de madeira, contraventados com placas estruturais OSB, aplicados em paredes e cobertura. Toda a madeira utilizada é certificada e de reflorestamento. A estrutura da casa é em Pinus autoclavado, tratado com CCB – Cromo Cobre Boro - proveniente de Rio Negro, Estado do Paraná. A serraria fornecedora do Pinus produz madeira de construção certificada para o Sistema *Wood Frame*. A madeira utilizada na casa é comprada aplainada e não precisa receber Tratamento Fitossanitário devido ao tratamento por Autoclave, porém todo o material em madeira passa pela máquina de destopo.

Os painéis OSB são produzidos com tiras de Pinus orientadas em três camadas cruzadas perpendiculares (conferindo assim uma maior resistência mecânica e rigidez) unidas com resinas de alta coesão e prensadas sob alta temperatura e pressão, provenientes de Ponta Grossa, Paraná.

#### 4.1.2.1 Os materiais

A empresa produtora do OSB pertence ao ramo da Construção Civil, com fábricas nos Estados Unidos, Canadá, Chile e Brasil. O processo de converter a madeira e outras matérias-primas em produtos de construção para edificações consome energia em muitas formas. No GRI (2009), a empresa relata que devido ao fato de a madeira ser a principal matéria-prima utilizada, sendo que a empresa tem utilizado historicamente a biomassa como fonte de calor para o processo de manufatura. O Quadro 9 ilustra as fontes de energia e a percentagem utilizada pela empresa.

Quadro 9 – Fontes de energia reportadas no GRI

Fonte de energia utilizada	(%)
Biomassa	74,4
Gás natural	8,33
Diesel	0,9
GLP	1,2
Eletricidade	12,7
Óleo combustível	2,4

Fonte: GRI (2009)

Os produtos são produzidos a partir de madeira ou florestas de reflorestamento. Com o objetivo de proteger a qualidade do ar interno, a empresa utiliza resinas de baixa emissão.

No relatório coordenado por Casagrande Júnior (2011), em uma habitação de 40,8 m<sup>2</sup>, construída com placas OSB, mostrou que uma casa construída no sistema *Wood Frame* reduz as emissões atmosféricas de dióxido de carbono em até 73% em comparação com uma construção em alvenaria. O estudo aborda a remoção do CO<sub>2</sub> baseado na reação química simplificada da fotossíntese, onde o dióxido de carbono é capturado da atmosfera, convertido em oxigênio e o carbono são fixados. Para a habitação de 40,8 m<sup>2</sup>, construída no sistema *Wood Frame* com placas OSB, são emitidos 2130 kg CO<sub>2</sub>, são fixados 747 kg CO e são removidos 2688 kg CO<sub>2</sub>. O equivalente em árvores deste processo é 3,47, onde este valor positivo indica que a casa estoca mais carbono do que emite, havendo assim uma equivalência de carbono fixado pelas árvores.

#### **4.1.3 Partes da casa excluídas do cálculo de energia embutida**

O escopo físico desta pesquisa vai do momento que o material entra na fábrica até o fim do processo de manufatura, porém foram contabilizadas no cálculo da energia embutida da casa as partes que ocorreram fora do escopo físico desta pesquisa, como telhas, pintura, piso e vidros. As instalações hidrossanitária, pluvial e elétrica não foram contabilizadas, assim como a fase de transporte.

#### **4.1.4 O sistema de pré-fabricação**

Para Batista (2007), a pré-fabricação é toda a produção de material, empregado na construção, que seja produzido fora da obra, possuindo dimensões definidas anteriormente à sua produção.

O sistema utilizado no estudo de caso é um sistema plano, sendo que segundo Berriel (2009), sistemas são planos quando são os planos que determinam os arranjos, como por exemplo, a utilização de painéis OSB para vedações horizontais ou verticais.

#### 4.1.5 O processo de fabricação

O lote de madeira é direcionado para a máquina destopadeira, onde a madeira é beneficiada na medida em que será utilizada, através da ordem de produção gerada pela lista de material do pedido de venda, conforme mostra a Figura 13.



Figura 13 - Madeira sendo destopada

Fonte: a partir de imagens da empresa (2011)

Os funcionários são orientados a cortar as peças nas quantidades e medidas desejadas. Por se tratar de um processo muito utilizado para a produção de caixas de embalagens, existem duas destopadeiras automáticas e duas destopadeiras manuais. Todo o pó de serra gerado neste e em outros processos é captado por meio de sucção e transportado por tubulações aéreas até um silo metálico com capacidade para 90 m<sup>3</sup>, localizado na parte exterior do galpão. Todo o pó de serra é comercializado.

As paredes são executadas em *Wood Frame*, com montantes de espessura de 38 mm, largura de 89 mm e espaçamento médio de 400 mm. As paredes externas são revestidas com uma membrana plástica de reaproveitamento presa com grampos a cada 40 cm, servindo como uma barreira contra a água e o vento. Diretamente sobre a membrana, são pregados painéis OSB com espessura de 11 mm, usando parafusos de 2" espaçados a cada 40 cm sobre os montantes. As Figuras 14 e 15 mostram o processo de manufatura da casa.





Figura 14 - Montagem dos painéis

Fonte: a partir de imagens da empresa (2011)

Para evitar a entrada de pó, vento e água e permitir a eliminação do vapor d'água gerado no interior da edificação, utilizam-se membranas hidrófugas. Na Figura 15 é possível observar a membrana entre os painéis durante o processo de manufatura.





Figura 15 - Painéis com a membrana hidrófuga

Fonte: a partir de imagens da empresa (2011)

#### 4.1.6 Os componentes da casa

Os acabamentos externos são feitos com placas em OSB *Smartside Panel H* que, além de revestir e vedar a parede auxiliam no contraventamento da estrutura. São produzidos com tecnologia OSB a partir de tiras de madeira reflorestada orientada em três camadas perpendiculares prensadas com resinas MDI resistentes às intempéries e aditivos que garantem a resistência a cupins (LP Brasil, 2011).

O acabamento é realizado com uma resina PBO – *Painted Based Overlay* – que permite à aderência de pinturas a base d'água. O PBO passa por um processo de impressão sobre pressão que projeta a textura do cedro (LP Brasil, 2011). A Figura 16 ilustra um painel *Smartside*.



Figura 16 – Paineis OSB Smartside

Fonte: LP Brasil (2011)

Com o objetivo de se evitar a proliferação de fungos e o ataque de cupins, conservando assim a integridade física dos painéis e garantindo uma alta durabilidade, os painéis são tratados com Borato de Zinco (LP Brasil, 2011).

## 5 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A avaliação ambiental levou em consideração a quantidade de reservas retiradas do meio ambiente para a fabricação do produto, a quantidade de material descartado, as emissões de carbono advindas da manufatura dos componentes da casa e do seu processo de pré-fabricação.

### 5.1 ENERGIA E CARBONO EMBUTIDOS

#### 5.1.1 Energia e carbono embutidos nos componentes da casa

Segundo Laroca (2002), sob o ponto de vista energético, a madeira é um material de baixo consumo energético durante a sua produção, principalmente se comparado aos materiais tradicionalmente empregados na Construção Civil brasileira.

##### 5.1.1.1 Energia e carbono embutidos adaptados do método de Tavares (2006)

A energia e o carbono embutidos nos materiais de construção seguiram a metodologia de análise do ciclo de vida energético de Tavares (2006). Nesta, a energia embutida inicial de edificações residenciais brasileiras é calculada a partir da informação dos quantitativos de materiais utilizados para a construção da edificação. A Tabela 5 ilustra como a eletricidade foi estimada a partir de dados do BEN (2011), a partir da discriminação dos conteúdos dos combustíveis responsáveis pela geração termoelétrica, fator de eficiência e percentagem.

Tabela 5 - Base de dados para a estimativa da eletricidade

TERMOELETRICIDADE	MATRIZ BRASILEIRA %	EFICIÊNCIA	FATOR	%	kg CO <sub>2</sub> /GJ (Fontes) <sup>(1)</sup>	kg CO <sub>2</sub> /GJ (Eletricidade)
Carvão	1,60	0,20	5,00	8,00	91,47	7,32
Óleo	5,60	0,30	3,33	18,67	79,77	14,89
Gás Natural	10,60	0,70	1,43	15,14	50,63	7,67
						29,87

Fonte: adaptado de Tavares (2006) e BEN (2011)

O consumo é realizado a partir de fontes primárias e secundárias. As fontes de energia primárias são relatadas no BEN (2011).

O carbono embutido é calculado a partir da discriminação dos consumos energéticos em fontes primárias e respectivos fatores de geração de carbono. A Tabela 6 ilustra a geração de CO<sub>2</sub> por tipo de fonte energética.

Tabela 6 - Geração de CO<sub>2</sub> por tipo de fonte energética

Fonte	CO <sub>2</sub> (kg/MJ)
Óleo combustível	0,0798
Gás natural	0,0506
GLP	0,0633
Coque de petróleo	0,0726
Carvão mineral	0,0915
Coque de carvão mineral	0,0915
Eletricidade <sup>1</sup>	0,02987

Fonte: adaptado de Tavares (2006) a partir de dados do IPCC (1996); (1) Tabela 5 ilustra o cálculo da eletricidade.

O Quadro 10 apresenta a relação percentual do consumo de fontes específicas de energia não renovável por materiais de construção fabricados no Brasil.

Quadro 10 - Percentual de fontes não renováveis por materiais de construção

Materiais	Óleo combustível	Gás natural	GPL	Coque de Petróleo	Carvão Mineral	Coque de carvão mineral	Eletricidade
Aço e ferro	1	6				71	10
Cerâmica revestimento	15	68	5				12
Concreto	82			9			9
Madeira	83						17
Pedra	85						15
Tintas	90						10

Fonte: adaptado de Tavares (2006)

A partir das percentagens do Quadro 11 e junto com os dados da Tabela 6 da quantidade de CO<sub>2</sub> liberada, é possível encontrar a relação da quantidade de CO<sub>2</sub> liberado por MJ de energia embutida no material, conforme ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Relação de kg CO<sub>2</sub> por MJ do material

Materiais	CO <sub>2</sub> (kg/MJ)
Aço e ferro	0,07179
Cerâmica revestimento	0,05313
Concreto	0,07466
Madeira	0,07131
Pedra	0,07231
Tintas	0,07481

A Tabela 8 ilustra os valores de energia e carbono embutidos nos materiais presentes na habitação pré-fabricada. Devido ao fato de o estudo de Tavares (2006) não abordar o OSB, os dados destes materiais foram retiradas de outras fontes de relevância científica, ICE (2010) e Athena Institute (2008).

Tabela 8 - Valores de energia e carbono embutidos para os materiais de construção adaptados de Tavares (2006)

Item	Material	Tavares (2006)		
		EE (MJ/kg)	EE(MJ/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg/MJ)
1	Brita	0,15	247,5	0,0723
2	Concreto	1,2	2760	0,0747
3	Pinus	3,5	2100	0,0713
4	Aço	30	23500	0,0718
5	Tinta PVA	65	84500	0,0748
6	Tinta óleo	98,1	127530	0,0748
7	Tinta latex	65	84500	0,0748
8	Piso cerâmico	5	10000	0,0531
9	Rodapé cerâmico	5	10000	0,0531
10	Cerâmica de revestimento	5,1	10200	0,0531

#### 5.1.1.2 Energia e carbono embutidos adaptados da base de dados ICE (2011)

A *University of Bath*, na Inglaterra criou o ICE – *Inventory of Carbon & Energy* – um inventário para a energia embutida e emissões de dióxido de carbono provenientes do processo de manufatura dos materiais de construção. Os dados foram coletados de fontes secundárias de domínio publico, como artigos publicados em periódicos, ACV's, artigos de conferências etc.

No ICE (2011), a energia embutida foi definida como sendo o total de energia primária consumida (com liberação de carbono) durante o ciclo de vida de um material de construção. Isto inclui extração, fabricação e transporte do material. Idealmente, os limites deveriam ser definidos a partir da extração das matérias-primas - incluindo combustíveis - até o final da vida útil dos produtos (incluindo a energia de fabricação, transporte, energia para a fabricação de equipamentos de capital, aquecimento e iluminação da fábrica, manutenção, eliminação, etc), conhecida como *Cradle-to-Grave*, ou seja, do berço ao túmulo. Tornou-se uma prática comum especificar a energia embutida como *Cradle-to-Gate*, que seria do berço ao portão, ou seja, isto incluiria toda a energia de fontes primárias até o produto deixar o portão da fábrica. A condição de contorno final seria *Cradle-to-Site*, que incluiria toda a energia consumida até o produto atingir o ponto de uso, o canteiro de obras.

Os dados de energia embutida e de carbono não possuíam em todas as fontes condições de contorno completas (como a energia rastreada para a terra ou a eletricidade rastreada desde o começo). Porém, dados incompletos continham na maioria das vezes suficiente substância para desempenhar um papel útil na estimação dos coeficientes de energia embutida. *Cradle-to-Gate* foi o contorno mais comumente utilizado e foi selecionado como o escopo ideal no estudo conduzido pela *University of Bath*.

O ICE (2011) contém tanto dados de energia quanto de carbono embutidos, porém os coeficientes energéticos possuem uma maior acurácia. Uma das razões para este fato é que a maioria dos dados coletados foi para energia embutida e não para carbono embutido. Portanto, foi necessário estimar o carbono embutido em muitos materiais. Como a maioria dos dados de carbono foi estimada pelos autores do ICE, estes se basearam no típico mix de combustíveis utilizados em indústrias inglesas. Este método não pode ser considerado perfeito, mas é necessário lembrar que os dados de um ACV também não são.

Os critérios utilizados para estimar a energia e o carbono embutidos se encontram abaixo:

1 – Conformidade com metodologias aprovadas: a preferência foi dada a fontes de dados que se encontravam de acordo com as metodologias aceitas. No caso de dados atuais, o estudo ideal seria compatível com a norma ISO 14040/44. No entanto, mesmo estudos que

cumprem esta norma podem ter diferenças significativas no método, portanto outros critérios de seleção foram necessários.

2 – Limites do sistema: foi adotado o padrão *Cradle-to-Gate*. A energia da matéria-prima só foi incluída quando esta representava uma perda permanente de recursos valiosos, como combustíveis fósseis. Por exemplo, os combustíveis fósseis como os petroquímicos, que são utilizados na produção de plásticos, foram incluídos (embora identificados separadamente). Contudo, o poder calorífico da madeira foi excluído. Esta abordagem é coerente com uma série de estudos publicados e metodologias. Os efeitos do sequestro de carbono foram considerados, mas não integrados aos dados.

3 – Origem dos dados: idealmente, os dados embutidos ao inventário estariam restritos as ilhas Britânicas. Mas, no caso da maioria dos materiais, isto não seria possível. Então, foram adotados os melhores dados disponíveis de fontes estrangeiras, como as médias europeias e mundiais. Uma preferência foi dada aos dados britânicos disponíveis de carbono embutido, devido às diferenças nacionais entre a mistura de combustíveis e a geração de eletricidade.

4 – Idade das fontes de dados: foi dada uma preferência as fontes mais atuais, em especial no caso do carbono, pois mudanças históricas na mistura dos combustíveis e dos coeficientes de carbono associados à geração de eletricidade conferem uma maior incerteza nos valores de carbono embutido.

5 – Carbono embutido: o ideal seriam dados obtidos a partir de um estudo que analisasse as emissões de carbono durante o ciclo de vida do material, através de um detalhado ACV, porém, na maioria das vezes, existiu uma falta destes dados. Em muitos casos, foi então necessário estimar o carbono. Fatores britânicos de emissão foram aplicados para estimar o carbono nos combustíveis relacionados ao setor industrial da Grã-Bretanha. A Tabela 9 contém os valores de energia e carbono embutidos para os materiais de construção da habitação pré-fabricada adaptados do ICE(2010).

Tabela 9 - Valores de energia e carbono embutidos para os materiais de construção da habitação pré-fabricada adaptados do ICE(2010)

Item	Material	ICE (2010)		Limites
		EE (MJ/kg)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /kg)	
1	Drywall	6,75	0,39	Cradle to Gate
2	Gesso	6,75	0,39	Cradle to Gate
3	Massa corrida	1,8	0,13	Cradle to Gate
4	Vidro	15	0,91	Cradle to Gate
5	Telha cerâmica	12	0,78	Cradle to Gate
6	Rejunte	30,8		Cradle to Gate

#### 5.1.1.3 Energia e carbono embutidos adaptados do estudo do Athena Institute (2008)

O estudo conduzido pelo Athena Institute (2008) foi escolhido como fonte de dados, por ter sido realizado em 4 províncias canadenses – *British Columbia, Alberta, Ontario e Quebec* – com uma representatividade de 10% dos estabelecimentos de manufatura de OSB, e a sua produção conjunta contabilizar 15% de todo o OSB produzido no Canadá. O estudo seguiu a metodologia da ISO 14040 (2006). A análise do fluxo de fibra indicou que 79% da entrada é madeira bruta, utilizada como recurso primário na produção de OSB e que 16% da biomassa de entrada é utilizada como combustível na secagem de madeira bruta, conforme ilustrado pela Tabela 10.

Tabela 10 - Balanço de massa da produção do OSB

Balanço de massa	kg/m <sup>3</sup>	%
Entrada - Tora de madeira (com casca)	529,4	100
Saída - OSB	420	79,34
Saída - madeira como combustível	86,2	16,28
Saída - subprodutos	15,5	2,93
Saída - desperdício	1,6	0,30
Saída - madeira para armazenamento	6,1	1,15

As Tabelas 11 e 12 mostram respectivamente as bases absolutas e percentuais das categorias de impacto para energia e aquecimento global.



Tabela 11 - Base absoluta das categorias de impacto na manufatura do OSB

Categoria de impacto	Unidade	Extração dos recursos naturais	Transporte de recursos e materiais	Manufatura do OSB	Total
Energia primária (total)	MJ	311	185	16479	16975
Energia primária não renovável (fóssil)	MJ	308	184	2112	2604
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub>	21,5	13,5	113,6	148,6

Fonte: adaptado do Athena Institute (2008).

Tabela 12 - Base percentual das categorias de impacto na manufatura do OSB

Categoria de impacto	%	Extração dos recursos naturais	Transporte de recursos e materiais	Manufatura do OSB
Energia primária (total)	100	1,8	1,1	97,1
Energia primária não renovável (fóssil)	100	11,8	7,1	81,1
Aquecimento global	100	14	8,8	77,2

Fonte: adaptado do Athena Institute (2008).

Utilizaram-se os valores de energia primária fóssil para se encontrar a relação de energia embutida no OSB. O carbono embutido foi retirado do balanço de carbono do estudo, como sendo o CO<sub>2</sub> de origem fóssil. A Tabela 13 mostra os valores empregados nesta dissertação para energia e carbono embutidos no OSB adaptados do Athena Institute (2008), para o Smartside e o OSB.

Tabela 13 - Valores de energia e carbono embutidos para os materiais de construção da habitação pré-fabricada adaptados do Athena Institute (2008)

ATHENA (2008)			
Item	Material	EE(MJ/kg)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /kg)
1	Smartside	13,11	0,75
2	OSB	4,81	0,28

#### 5.1.1.4 Energia e carbono embutidos nos materiais que compõem a habitação social em *Wood Frame*

Sempre que possível, optou-se por utilizar a base de dados de Tavares (2006). A Tabela 14 mostra os resultados de energia e carbono embutidos para os componentes da

habitação pré-fabricada, enquanto que a Tabela 15 ilustra estes resultados totais e por metro quadrado.

Tabela 14 - Energia e carbono embutidos por material de construção da habitação pré-fabricada em *Wood*

*Frame*

Item	Material	EE (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg)
1	Brita	320,76	23,19
2	Concreto	8346,24	623,12
3	Pinus	6750,68	481,40
4	Smartside	1644,47	94,08
5	Drywall	3877,65	224,04
6	OSB	3997,92	232,73
7	Gesso	9704,45	560,70
8	Aço	32922,90	2363,40
9	Massa corrida	1744,20	125,97
10	Tinta PVA	1241,11	92,84
11	Tinta óleo	2123,37	158,84
12	Tinta latex	371,61	27,80
13	Vidro	900,00	54,60
14	Telha cerâmica	22651,20	1472,33
15	Piso cerâmico	1450,00	77,03
16	Rodapé cerâmico	124,86	6,63
17	Cerâmica de revestimento	1331,10	70,72
18	Rejunte	231,00	

Tabela 15 - Energia e carbono embutido por metro quadrado

Quantitativos finais	Valores
EE(MJ)	99733,51
EE(MJ/m <sup>2</sup> )	2374,61
CO <sub>2</sub> (kg)	6689,43
CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	159,27

### 5.1.2 Energia embutida no processo de manufatura da habitação pré-fabricada

Com o objetivo de quantificar o consumo energético da indústria, a empresa encomendou um laudo técnico a uma empresa de engenharia elétrica. Foi considerado como horário de trabalho para o setor fabril das 07h15min às 17h30min, de segunda a sexta-feira, com intervalo de uma hora para o almoço. O laudo apontou que o consumo diário de energia elétrica da fábrica é de 12.057,40 kWh, sendo que este consumo corresponde a

86,6% do percentual de consumo da empresa. A fábrica possui uma área de 6.239 m<sup>2</sup>, destes são utilizados 1301,6 m<sup>2</sup> para a manufatura da casa. Foram então realizados os seguintes cálculos:

$$\frac{\text{consumo energético da fábrica}}{\text{área da fábrica}} = 1,93 \text{ kWh/m}^2 \quad (1)$$

$$1,93 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 0,28 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} = 0,54 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

$$0,54 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \times 1301,6 \text{m}^2 = 704,32 \text{MJ} \quad (3)$$

Considerou-se então que para a área de produção da habitação pré-fabricada consome 704,32 MJ em um mês útil. Como o tempo de produção da casa durou 36 horas e cada dia útil tem a duração de 9 horas e 15 minutos, tem-se a relação que a produção da casa durou 3,89 dias úteis. Com base nisto, realizou-se o cálculo abaixo.

$$\frac{3,89 \text{ dias} \times 704,32 \text{ MJ}}{22 \text{ dias}} = 124,53 \text{ MJ} \quad (4)$$

A área da habitação pré-fabricada é de 42 m<sup>2</sup>. Realizou-se então o seguinte cálculo para se encontrar a energia embutida neste processo:

$$\frac{\text{Energia consumida}}{\text{Área da casa}} = \frac{124,53}{42} = 2,96 \text{ MJ/m}^2 \quad (5)$$

Observam-se na Tabela 16, que o tempo total para destopar os produtos de madeira foi de 6h25min.

Tabela 16 - Tempo de corte dos materiais na destopadeira

Item	Tempo de destopamento	Material
Parede 1	0:18	Pinus
Parede 2	0:12	Pinus
Parede 3	0:16	Pinus
Parede 6	0:05	Pinus
Parede 8	0:07	Pinus
Parede 9	0:10	Pinus
Parede 10	0:15	Pinus
Superior	0:15	Pinus
Inferior	0:15	Pinus
Conector	0:04	OSB
Vigamento	3:30	Pinus
Ripamento	0:23	Pinus
Viga mestre	0:10	Pinus
Treliça	0:25	Pinus
Total	6:25	

Para se calcular o consumo do motor elétrico da destopadeira, utilizou-se a fórmula

6.

$$C = \frac{P \times 0,736}{R} \times 100\% \quad (6)$$

Onde:

C= consumo do motor em uma hora de operação (kWh/h)

P= Potência (CV)

R= Rendimento (%)

0,736= KW/CV

Então,

$$C = \frac{5 \times 0,74}{84,6} \times 100 = 4,37 \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \quad (7)$$

$$4,37 \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \times 0,28 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} = 1,22 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (8)$$

$$1,22 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \times 6,4\text{h} = 7,83 \text{ MJ} \quad (9)$$

Ao se quantificar os itens que compõem o produto manufaturado na fábrica, obteve-se que o Pinus responde por 1928,76 kg. Com o objetivo de se contabilizar a energia embutida no processo de destopar as peças de madeira calcula-se:

$$\frac{\text{Energia consumida na destopadeira}}{\text{Peso da madeira}} = \frac{7,83 \text{ MJ}}{1928,76 \text{ kg}} = 0,004 \text{ MJ/kg} \quad (10)$$

## 5.2 CARBONO ESTOCADO

Partindo do pressuposto que a redução das emissões de CO<sub>2</sub> promovidas pela fixação do carbono em usos duráveis na madeira – e não como combustível – é uma estratégia de sustentabilidade frente às mudanças climáticas, foi realizado o cálculo do carbono estocado nos componentes da casa.

Para o cálculo do carbono estocado, utilizou-se a relação do MCT (2006), de que a quantificação do carbono existente na matéria seca esta em torno de 50%, logo, o teor de carbono em uma tonelada de matéria seca de madeira é de 50%. A Tabela 17 ilustra o quantitativo de carbono estocado no Pinus e OSB que compõem a habitação pré-fabricada.

Tabela 17 - Carbono estocado no Pinus e OSB

Material	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)	Carbono Estocado (kg C)
Pinus	3,215	1928,765	964,383
Smartside	0,557	125,436	62,718
OSB	1,385	831,168	415,584
Total	5,157	2885,369	1442,685

Sendo assim, dos 6689,43 kg de CO<sub>2</sub> embutidos nos materiais que compõem a habitação, 2885,37 kg CO<sub>2</sub> são mitigados pelo carbono estocado nos componentes em madeira, resultando em 3804,07 kg de CO<sub>2</sub> embutidos nos materiais, conforme registrados na Tabela 18.

Tabela 18 – Quantitativo final de habitação em *Wood Frame* com o balanço do carbono fixado

Quantitativo final	Valores
EE (MJ)	99733,51
EE (MJ/m <sup>2</sup> )	2374,61
CO <sub>2</sub> (kg)	3804,07
CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	90,57

### 5.3 ACV

Para a realização da ACV, foi escolhido o *software* SimaPro 7.3 devido a facilidade ao acesso do mesmo, volume de dados do software, por este realizar avaliação do impacto ambiental, diagrama de rede e permitir a inserção de dados, além de ser um dos *softwares* mais significativos para a utilização da ACV como uma ferramenta de gerenciamento ambiental (RICE, CLIFT e BURNS, 1997). O público para o qual estes dados são apresentados são os profissionais da construção civil da sociedade brasileira, que se envolvem direta e indiretamente com o desenvolvimento de habitações sociais. Foram modeladas no software duas habitações de interesse social, uma em *Wood Frame* e outra em alvenaria e concreto armado.

#### 5.3.1 Habitação de interesse social em alvenaria e concreto armado

A habitação de interesse social em alvenaria foi inspirada na apresentada por Casagrande Júnior (2011). A escolha ocorreu pelo fato de as habitações em alvenaria e em *Wood Frame* serem baseada no modelo proposto pela COHAPAR, possuindo assim uma similaridade em área e em composição de ambientes. Além disso, o estudo conduzido por Casagrande Júnior utilizou dados de carbono embutido adaptados de Tavares (2006). A Figura 17 ilustra a planta da habitação da COHAPAR de 40,8 m<sup>2</sup>.

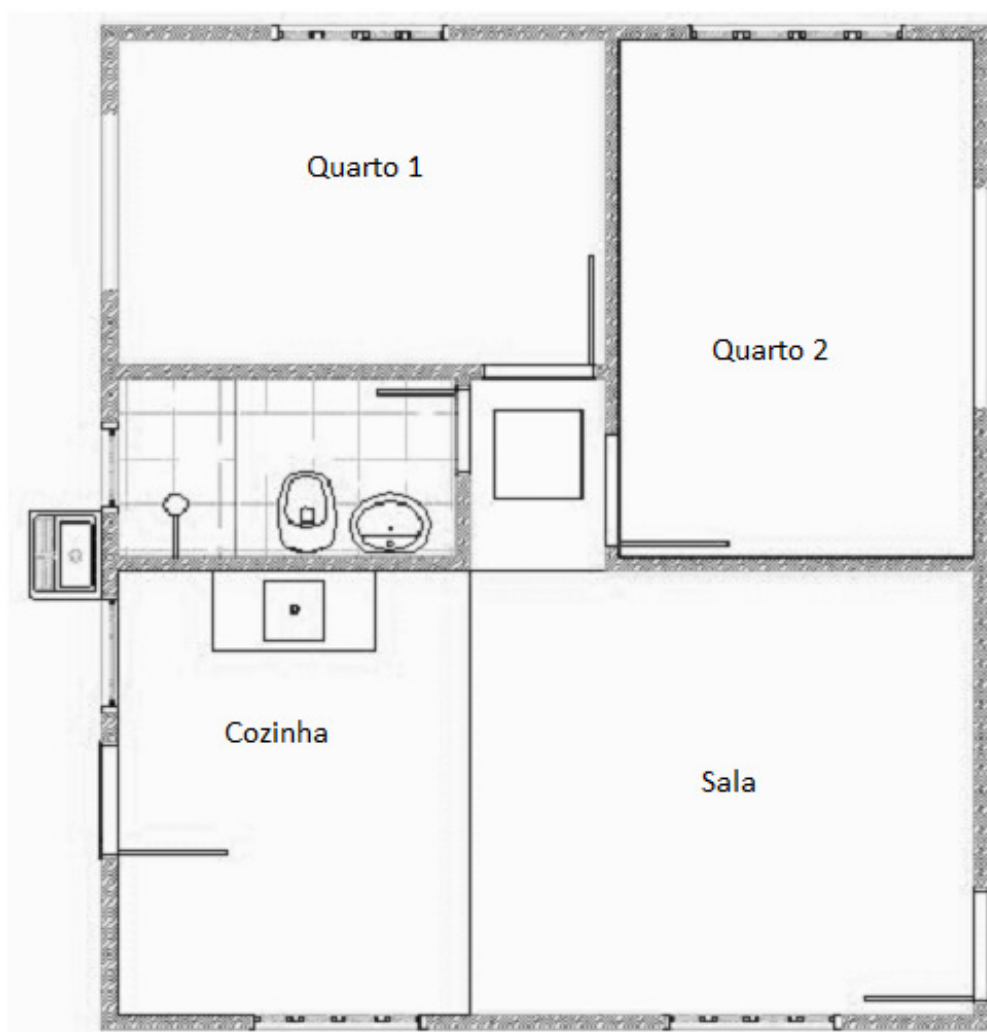


Figura 17 – Planta da habitação de interesse social em alvenaria e concreto armado

Fonte: Casagrande Júnior (2011)

Na Tabela 19 se encontram o quantitativo de material que compõem a habitação, retirado de Casagrande Júnior (2011), salientando que as densidades foram retiradas de Tavares (2006).

Tabela 19 – Quantitativo de material que compõe a habitação de interesse social em alvenaria e concreto armado

Material	Quantitativo	Unidade	Densidade	Unidade	Peso (kg)
cimento	6120,99	kg			6120,99
brita	5,17	m <sup>3</sup>	1650	kg/m <sup>3</sup>	8530,5
areia	17,01	m <sup>3</sup>	1515	kg/m <sup>3</sup>	25770,15
aço	578	kg			578
tijolo	5532,8	kg			5532,8
cal	215,99	kg			215,99
pvc	96,82	kg			96,82
tinta óleo	10	l	1,3	kg/l	13
tinta Acrílica	23,5	l	1,3	kg/l	30,55
tinta PVA	4,5	l	1,3	kg/l	5,85
telha cerâmica	2573,25	kg			2573,25

Para que fosse seguida a mesma metodologia aplicada na habitação de interesse social em *Wood Frame*, utilizou-se a metodologia explicitada em 5.1.1.1 e 5.1.1.2. A Tabela 20 ilustra estes valores.

Tabela 20 – Valores de energia e CO<sub>2</sub> embutidos para os materiais da habitação em alvenaria

Material	EE (MJ/kg)	kg CO <sub>2</sub> /kg
cimento	4,200	0,630
brita	0,150	0,011
areia <sup>1</sup>	0,008	0,005
aço	30,000	2,150
tijolo	2,900	0,230
cal	3,000	1,020
pvc	80,000	2,040
tinta óleo	98,100	9,390
tinta acrílica	61,000	5,680
tinta PVA	65,000	6,050
telha cerâmica <sup>1</sup>	12,000	0,780

Fonte: adaptado de Tavares (2006); (<sup>1</sup>) adaptado de ICE (2011).

Optou-se por utilizar os valores de areia do ICE (2011), pois ao contabilizar os valores presentes em Tavares (2006), os valores da areia estavam extrapolando em relação aos demais materiais. Na Tabela 21 observam-se os valores de energia embutida em MJ e a quantidade de CO<sub>2</sub> embutida nos materiais que compõem a habitação em alvenaria e a Tabela 22 mostra o quantitativo final destes absolutos e por m<sup>2</sup>.



Tabela 21 - Energia e carbono embutidos por material de construção da habitação pré-fabricada em alvenaria

Material	EE (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg)
cimento	25708,16	3856,22
brita	1279,58	93,84
areia <sup>1</sup>	208,74	131,43
aço	17340,00	1242,70
tijolo	16045,12	1272,54
cal	647,97	220,31
pvc	7745,60	197,51
tinta óleo	1275,30	122,07
tinta acrílica	1863,55	173,52
tinta PVA	380,25	35,39
telha cerâmica <sup>1</sup>	30879,00	2007,14

Tabela 22 – Quantitativo final dos valores de energia e CO<sub>2</sub> embutidos e por m<sup>2</sup>

Quantitativo final	Valores
EE (MJ)	103373,26
EE (MJ/m <sup>2</sup> )	2533,66
CO <sub>2</sub> (kg)	9352,68
CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	229,23

### 5.3.2 Modelagem no software SimaPro

No *software* SimaPro foi criado um projeto chamado de Habitação de Interesse Social e dentro deste projeto foi modelado dois tipos de habitação para duas situações diferentes. A primeira utilizou dados de energia e carbono embutidos previamente explicitados e a segunda utilizou o banco de dados Ecoinvent (2012).

O primeiro passo foi escolher no Explorador LCA do SimaPro, em Bibliotecas as opções *Ecoinvent (2012) unit process* e *Methods*, para que estivesse disponível para o projeto tanta a base de dados Ecoinvent (2012), quanto os métodos de avaliação de impacto. A Figura 18 ilustra estas opções marcadas.

- ☐ Dutch Input Output Databas...
- ☐ Ecoinvent system processes
- ☒ Ecoinvent unit processes
- ☐ ELCD
- ☐ EU & DK Input Output Datab...
- ☐ Industry data 2.0
- ☐ LCA Food DK
- ☒ Methods
- ☐ USA Input Output Database 98
- ☐ USLCI

Figura 18 – Escolha das opções em Bibliotecas

### 5.3.2.1 Primeira situação: dados de energia e carbono embutidos

Para a modelagem das habitações no software, foram criados em *Material* os materiais que compõem cada uma das habitações, conforme ilustrado pela Figura 19.

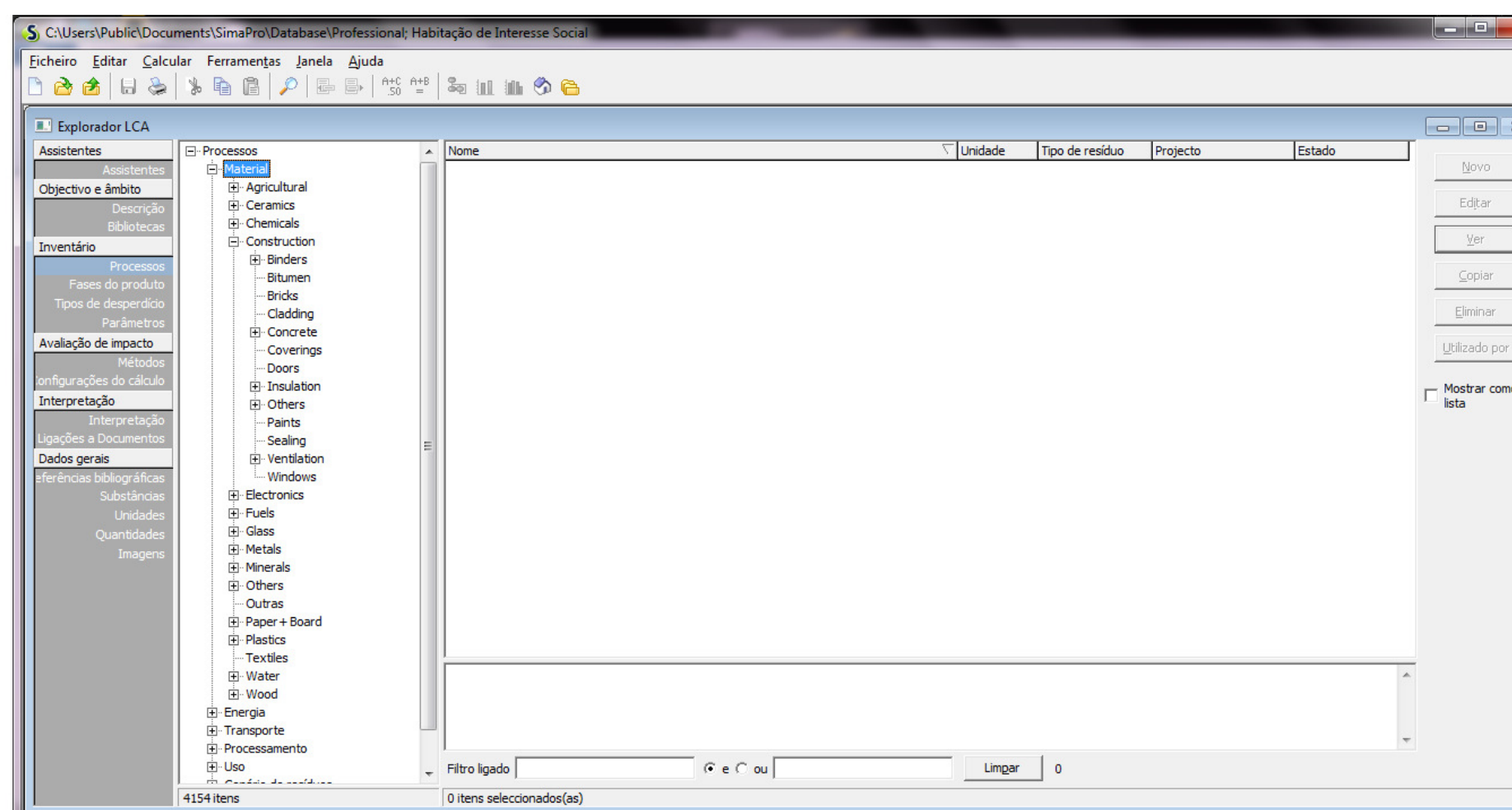


Figura 19 – Layout do SimaPro onde são inseridas os materiais

Em cada material, foram inseridos os dados de energia e carbono embutidos por kg de material componente das habitações sociais, sendo que não foram detalhados os cenários de disposição de resíduos, conforme exemplifica a Figura 20.

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Habitação de Interesse Social - [Editar material processo 'OSB']

Ficheiro Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Documentação Entrada/saída Parâmetros Descrição do sistema

Produtos

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos

Nome	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação %	Tipo de resíduo	Categoria	Comentário
OSB	1	kg	Mass	100 %	não definido	Wood	
(Insira linha aqui)							

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)						

Entradas

Entradas conhecidas da natureza (recursos)

Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)							

Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)						

Entradas conhecidas da esfera tecnológica (electricidade/calor)

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
Electricity, production mix BR/BR U	4,91	MJ	Indefinido			
(Insira linha aqui)						

Saídas

Emissões para o ar

Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
Carbon dioxide		0,28	kg	Indefinido			
(Insira linha aqui)							

Emissões para a água

Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)							

Emissões para o solo

Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)							

Fluxos finais de resíduo

Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)							

Figura 20 – Criação dos materiais que compõem as habitações no SimaPro

Foi escolhido como fonte energética o *Electricity production mix BR* que corresponde à matriz energética brasileira na base de dados Ecoinvent (2012), uma das bases de dados de ACV mais conhecidas internacionalmente. A Figura 21 mostra as entradas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis) para esta fonte energética.

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos							
Nome	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação %	Categoria	Comentário	
Electricity, production mix BR/BR U	1	kWh	Energy	100 %	Electricity count...\Production	BRAZIL	
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados							
Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário	
Entradas							
Entradas conhecidas da natureza (recursos)							
Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)							
Nome		Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
Electricity, hard coal, at power plant/UCTE U		0,015635	kWh	Sessão normal	1,2423		(1, 1, 1, 5, 3, 1); national and international statistics
Electricity, at cogen 200kWe diesel SCR, allocation exergy/CH U		0,028873	kWh	Sessão normal	1,2423		(1, 1, 1, 5, 3, 1); national and international statistics
Electricity, natural gas, at power plant/UCTE U		0,046692	kWh	Sessão normal	1,1249		(1, 1, 1, 5, 1, 1); national and international statistics
Electricity, industrial gas, at power plant/UCTE U		0,012044	kWh	Sessão normal	1,2423		(1, 1, 1, 5, 3, 1); national and international statistics
Electricity, hydropower, at reservoir power plant/BR U		0,83761	kWh	Sessão normal	1,071400000		(1, 1, 1, 1, 1, 1); national and international statistics
Electricity, nuclear, at power plant/CH U		0,024569	kWh	Sessão normal	1,2423		(1, 1, 1, 5, 3, 1); national and international statistics
Electricity, at wind power plant/RER U		0,00015139	kWh	Sessão normal	1,2423		(1, 1, 1, 5, 3, 1); national and international statistics
Electricity, bagasse, sugarcane, at fermentation plant/BR U		0,03443	kWh	Sessão normal	1,5088		(1, 1, 1, 1, 4, 1); national and international statistics

Figura 21 - Electricity production mix BR

A Figura 22 mostra o impacto destas entradas pelo método de avaliação de impacto CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990, para o Aquecimento Global, onde a cor rosa indica o correspondente à parte das hidrelétricas.

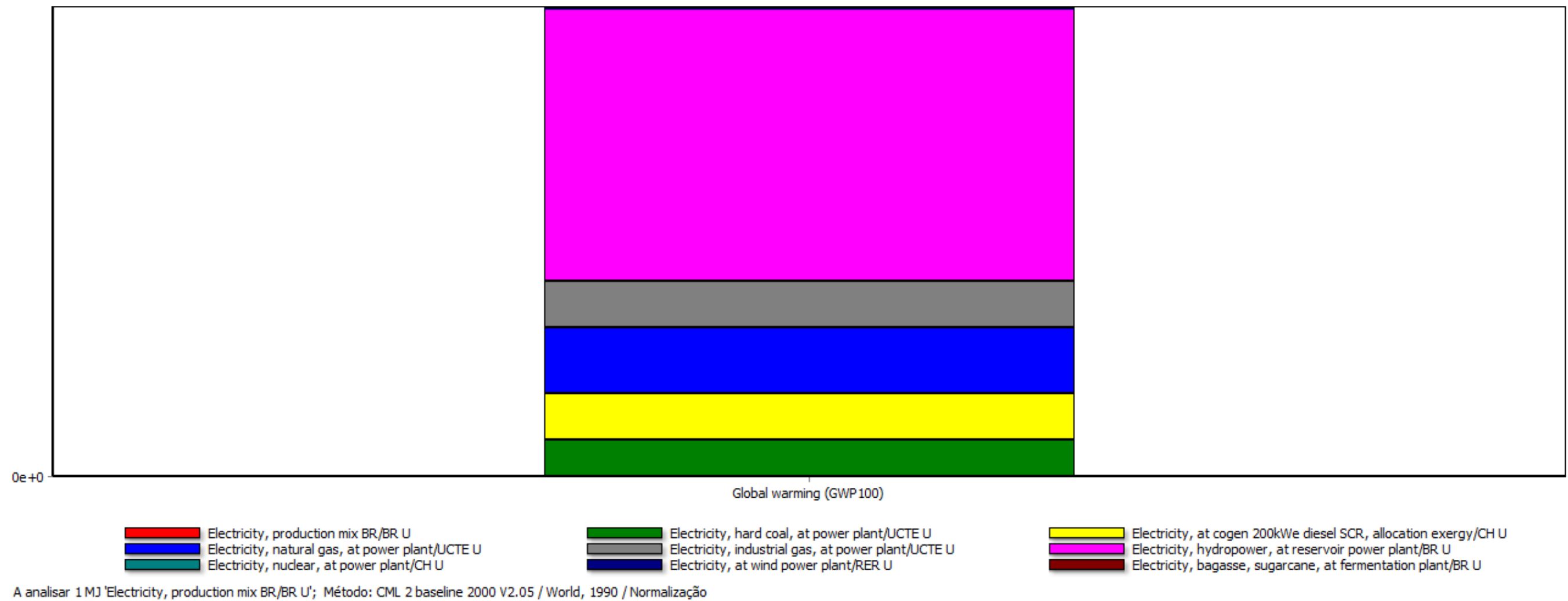


Figura 22 – Aquecimento global como impacto causado pela geração energética brasileira

Este método foi desenvolvido pela Universidade de Leiden, Holanda, e foi escolhido por ser um método de *midpoint*, ou seja, é uma metodologia orientada para o problema, que traduz o impacto em termos de acidificação, mudanças climáticas, uso do solo, ecotoxicidade, entre outras. É possível observar na Figura 23 a rede do impacto Aquecimento Global e as contribuições de cada entradas da esfera tecnológica, onde a eletricidade de fonte hidrelétrica contribui com cerca de 58% do processo e a eletricidade do gás natural com cerca de 14%.

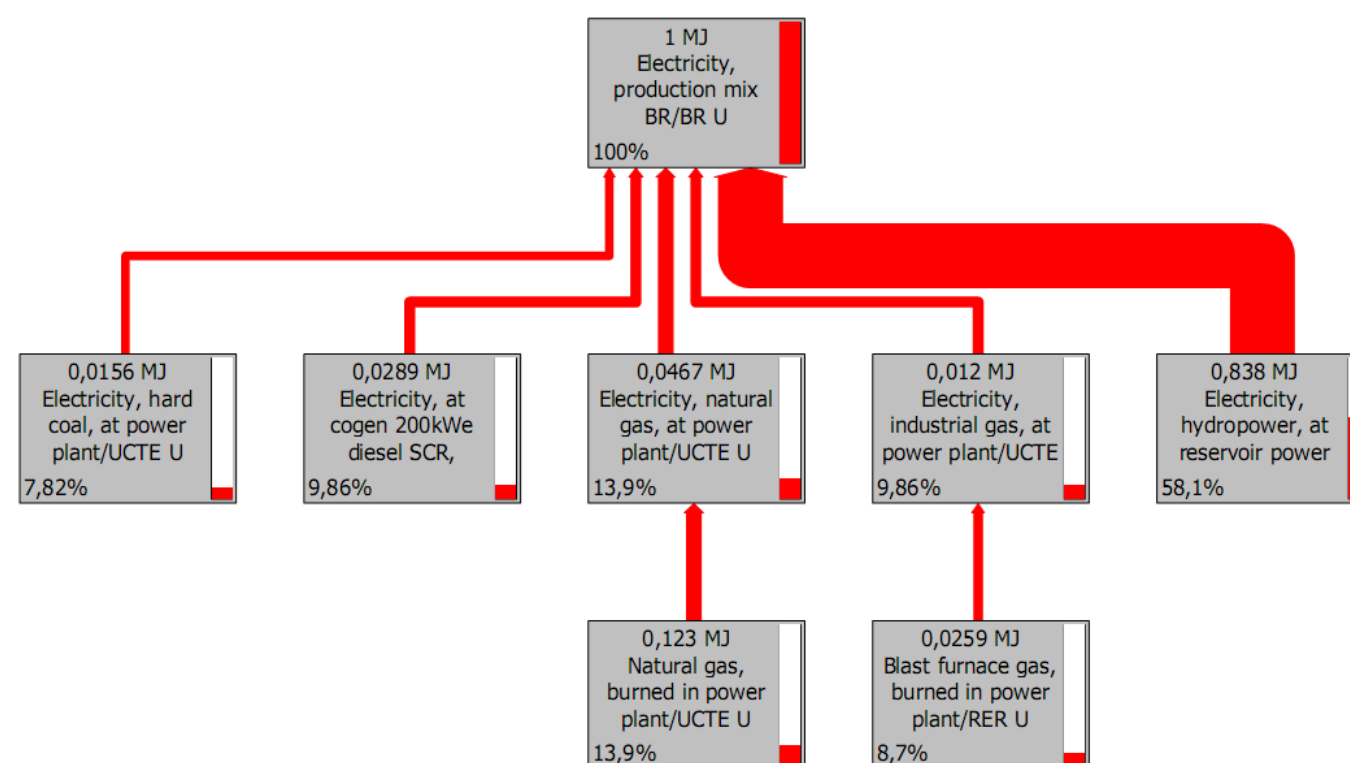


Figura 23 – Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a geração energética brasileira.

Foram então criados os seguintes produtos no item Inventário – Fases do Produto - Montagem: Habitação em *Wood Frame* e Habitação em Alvenaria, conforme a Figura 24.

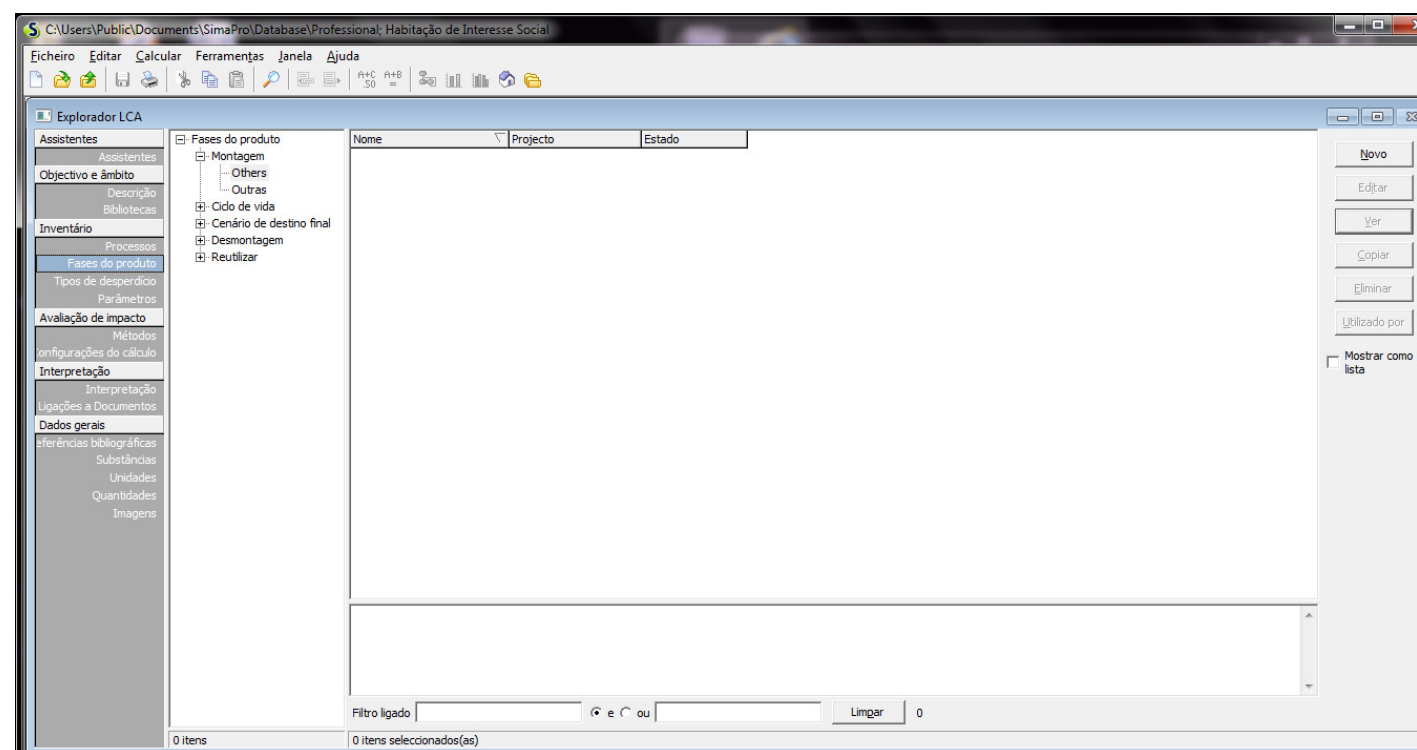


Figura 24 – Layout de Fases do produto, onde foram inseridas em Montagem as habitações.


Em cada uma, foram inseridos os quantitativos de cada um dos materiais explicitados previamente componentes das habitações. A Figura 25 mostra este fato para a Habitação em *Wood Frame* e a Figura 26 para a Habitação em Alvenaria.

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Habitação de Interesse Social - [Editar montagem 'Habitação em Wood Frame']

**Ficheiro** **Editar** **Calcular** **Ferramentas** **Janela** **Ajuda**

Entrada/saída | Parâmetros

Nome: Habitação em Wood Frame

Imagem: 

Comentário:

Estado: Terminado

Materiais/Montagens	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
Cerâmica de revestimento	261	kg	Indefinido			
Piso cerâmico	290	kg	Indefinido			
Rodapé cerâmico	24,97	kg	Indefinido			
Telha cerâmica	1887,6	kg	Indefinido			
Concreto	6955,2	kg	Indefinido			
Drywall	574,47	kg	Indefinido			
Gesso	1437,7	kg	Indefinido			
Rejunte	7,5	kg	Indefinido			
Massa corrida	969	kg	Indefinido			
Brita	2138,4	kg	Indefinido			
Tinta latex	5,72	kg	Indefinido			
Tinta óleo	21,65	kg	Indefinido			
Tinta PVA	19,09	kg	Indefinido			
Vidro	60	kg	Indefinido			
Aço	1097,43	kg	Indefinido			
OSB	831,17	kg	Indefinido			
Pinus	1928,77	kg	Indefinido			
Smartside	125,44	kg	Indefinido			
(Insira linha aqui)						

Processos	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)						

Figura 25 – Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em *Wood Frame*

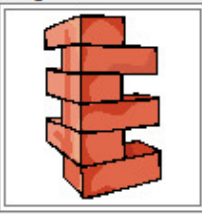


C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Habitação de Interesse Social - [Editar montagem 'Habitação em Alvenaria']

Ficheiro Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Entrada/saída Parâmetros

Nome: Habitação em Alvenaria

Imagem: 

Comentário:

Estado: Terminado

Materiais/Montagens	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
Cimento	6120,99	kg	Indefinido			
Brita	8530,5	kg	Indefinido			
Areia	25770,15	kg	Indefinido			
Aço	382	kg	Indefinido			
Tijolo	5532,8	kg	Indefinido			
Cal	215,99	kg	Indefinido			
PVC	96,82	kg	Indefinido			
Tinta latex	5,85	kg	Indefinido			
Tinta óleo	13	kg	Indefinido			
Tinta acrílica	30,55	kg	Indefinido			
Perfis em Steel Frame	196	kg	Indefinido			
Telha cerâmica	2573,25	kg	Indefinido			
(Insira linha aqui)						

Processos	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2*Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)						

Figura 26 - Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em alvenaria

A partir desta modelagem, foi possível realizar uma simulação da avaliação do impacto ambiental para cada habitação, utilizando o método de avaliação de impacto CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990. A Figura 27 mostra o cálculo da análise da Habitação em *Wood Frame* e a Figura 28 mostra a avaliação de impacto para o Aquecimento Global da Habitação em *Wood Frame* de acordo com o CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990.



Nome

Comentário

Função de cálculo  
☐ Rede  
☐ Árvore  
☒ Analisar  
☐ Comparar

Método  
CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1990

Produto	Quantidade	Unidade	Projecto	Comentário
Habitação em Wood Frame	1	p	Habitação de Interesse Social	

Trocar  
☐ Excluir processos de infra-estrutura  
☐ Excluir emissões de longo prazo

Figura 27 – Layout da análise da Habitação em *Wood Frame* pelo CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990

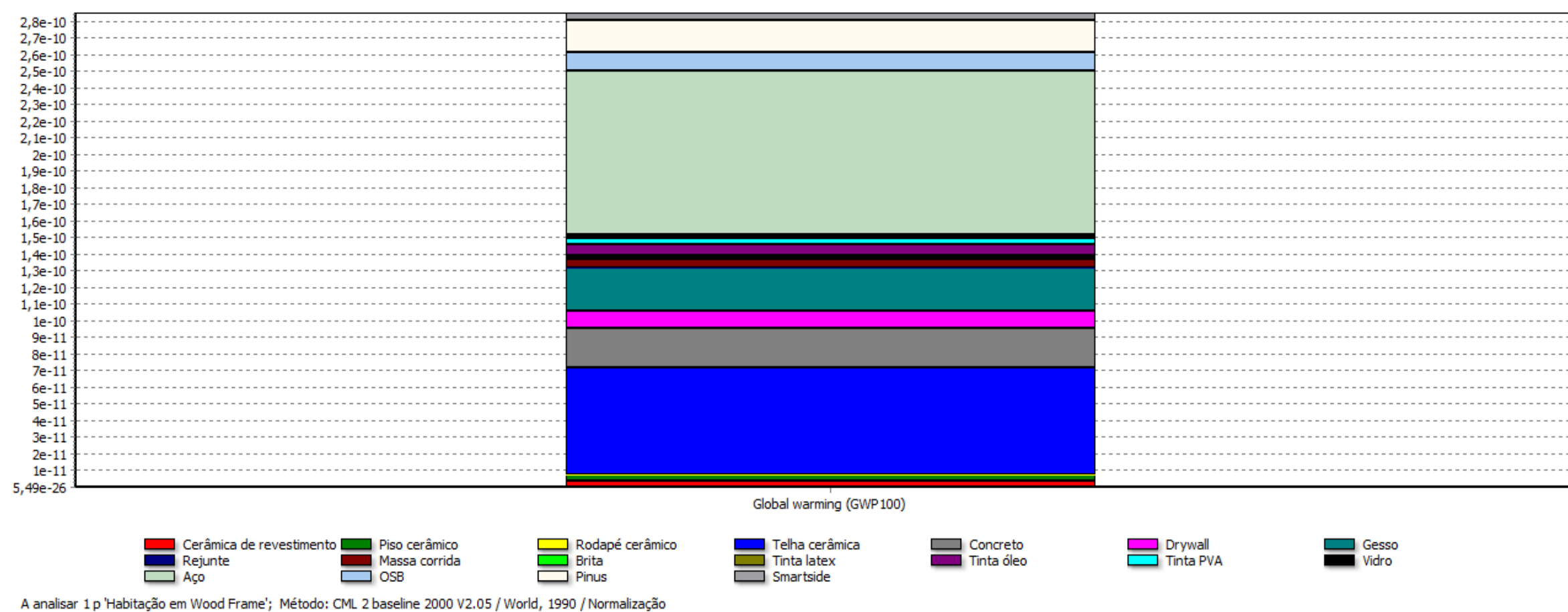


Figura 28 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em *Wood Frame* pelo CML 2 baseline 2000

A Figura 29 mostra a rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em *Wood Frame*, explicitando a contribuição do aço, de cerca de 34%, da telha cerâmica de cerca de 23%, do gesso de 9% e do concreto de 8%. É possível notar que a estrutura em pinus contribuiu com cerca de 7% para o aquecimento global, e nesta contabilidade não está incluso o carbono fixado pelos materiais em madeira componentes da habitação.

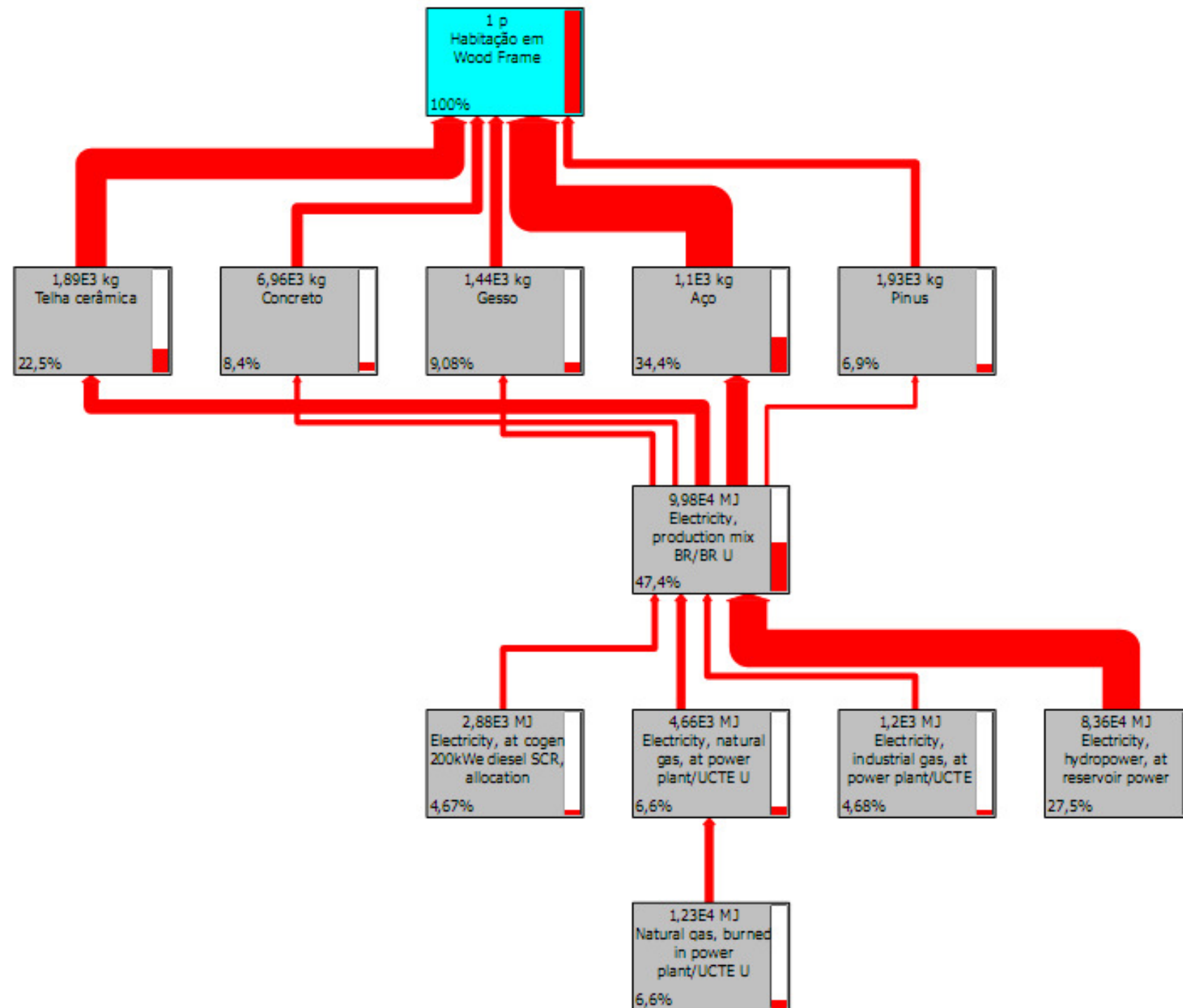


Figura 29 – Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em *Wood Frame*.

A Figura 30 mostra a avaliação de impacto para o Aquecimento Global da Habitação em alvenaria de acordo com o CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990.

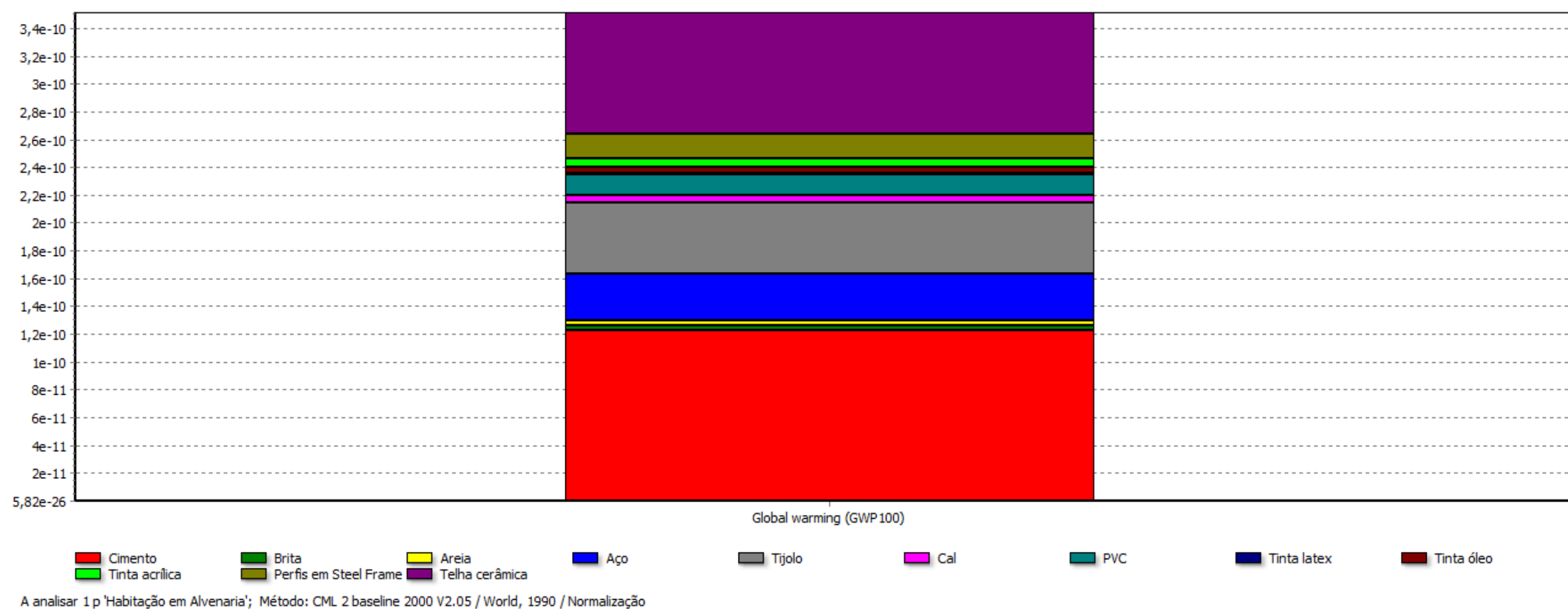


Figura 30 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em alvenaria pelo CML 2 baseline 2000

A Figura 31 mostra a rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em alvenaria, explicitando a contribuição do cimento, de cerca de 35%, da telha cerâmica de cerca de 25% e do tijolo de 15%.

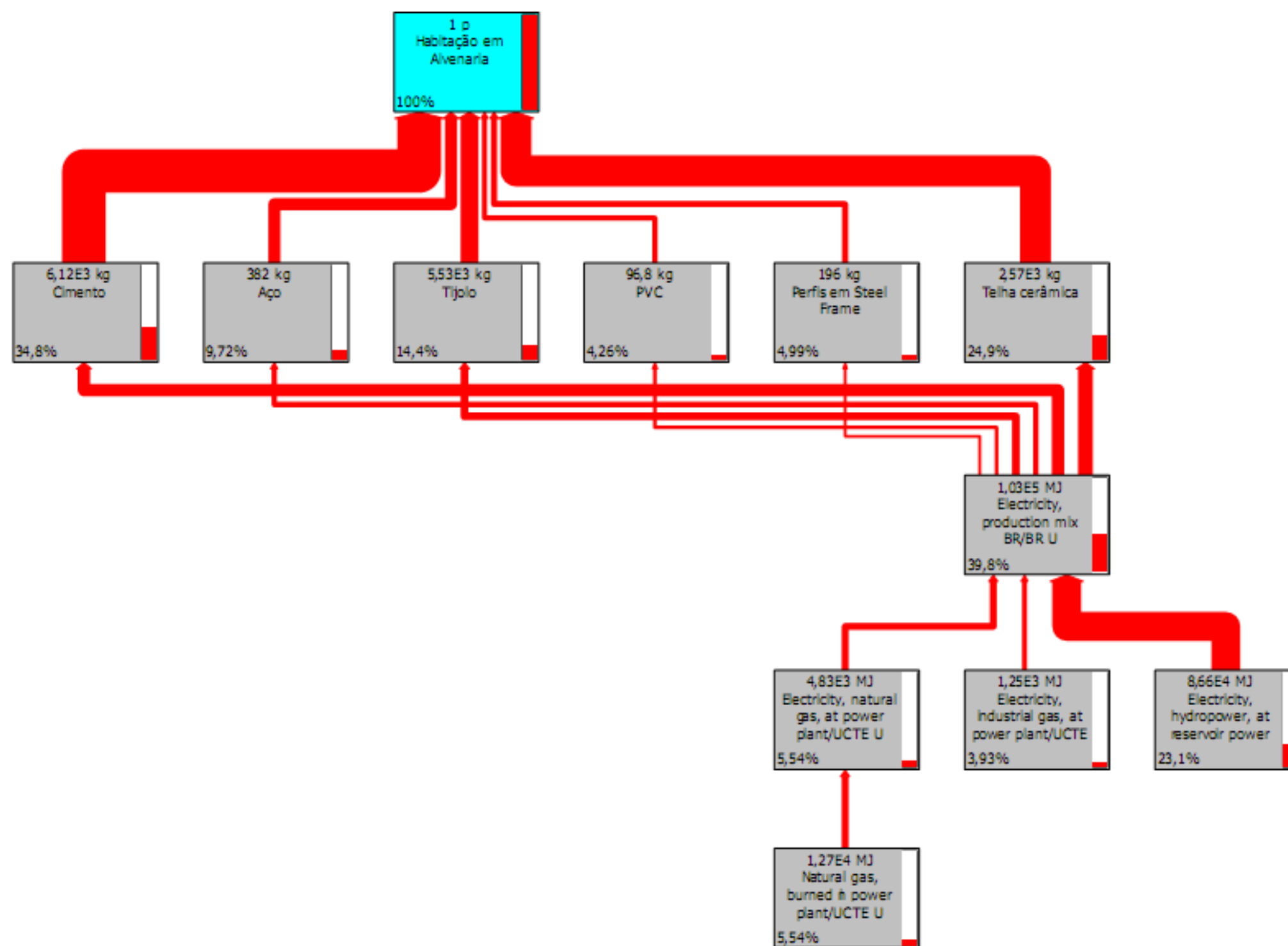



Figura 31 - Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em alvenaria.

### 5.3.2.2 Segunda situação: a partir do banco de dados Ecoinvent (2012)

Com o objetivo de comparar os resultados modelados no SimaPro a partir dos dados de energia e carbono embutidos nos materiais componentes das habitações de interesse social, realizaram-se simulações para o mesmo quantitativo de material, com materiais do banco de dados Ecoinvent (2012), conforme mostrado na Figura 32 para a habitação em *Wood Frame*.

Nome	Imagem	Comentário
Hab. em WF dados ecoinvent		
Estado	Terminado	

Materiais/Montagens	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD <sup>2</sup> eller 2*Min	Máx	Comentário
Quarry tile, at plant/CH U	575,97	kg	Indefinido			
Roof tile, at plant/RER U	1887,6	kg	Indefinido			
Poor concrete, at plant/CH U	3,02	m3	Indefinido			
Gypsum plaster board, at plant/CH U	2012,16	kg	Indefinido			
Base plaster, at plant/CH U	969	kg	Indefinido			
Gravel, unspecified, at mine/CH U	2138,4	kg	Indefinido			
Alkyd paint, white, 60% in solvent, at plant/RER U	46,46	kg	Indefinido			
Flat glass, uncoated, at plant/RER U	60	kg	Indefinido			
Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U	1097,43	kg	Indefinido			
Sawn timber, hardwood, planed, kiln dried, u=10%, at plant/	3,21	m3	Indefinido			
Oriented strand board, at plant/RER U	1,94	m3	Indefinido			
(Insira linha aqui)						

Figura 32 - Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em *Wood Frame* com dados do Ecoinvent (2012).

A Figura 33 mostra a avaliação de impacto para o Aquecimento Global da Habitação em *Wood Frame* com dados do Ecoinvent (2012) de acordo com o método de avaliação de impacto CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990.

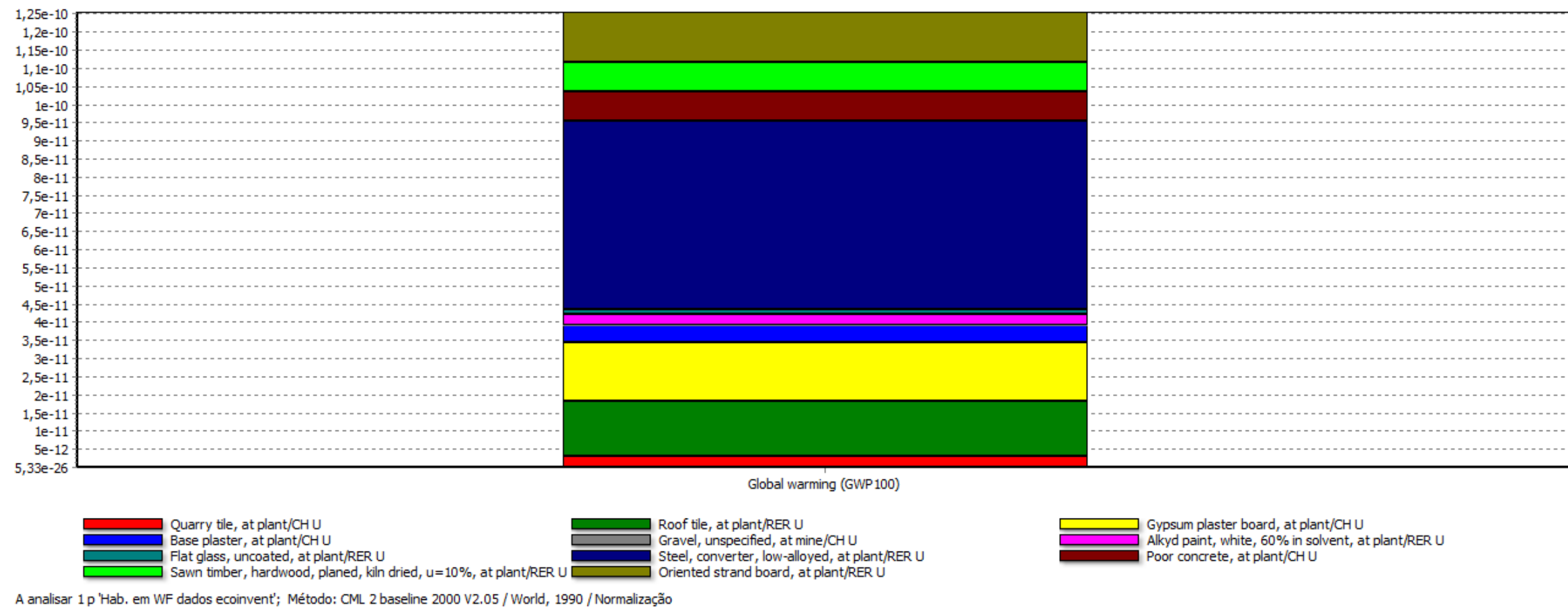


Figura 33 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em *Wood Frame* com dados do Ecoinvent (2012) pelo CML 2 baseline 2000.

A Figura 34 ilustra a rede do impacto Aquecimento global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em *Wood Frame* com dados do Ecoinvent (2012), explicitando a contribuição do da telha cerâmica em 13%, em comparação com a habitação em *Wood Frame* de 23%; do aço de 42% versus 34% previamente explicitados e nesta habitação o OSB aparece como responsável por 11% do impacto.

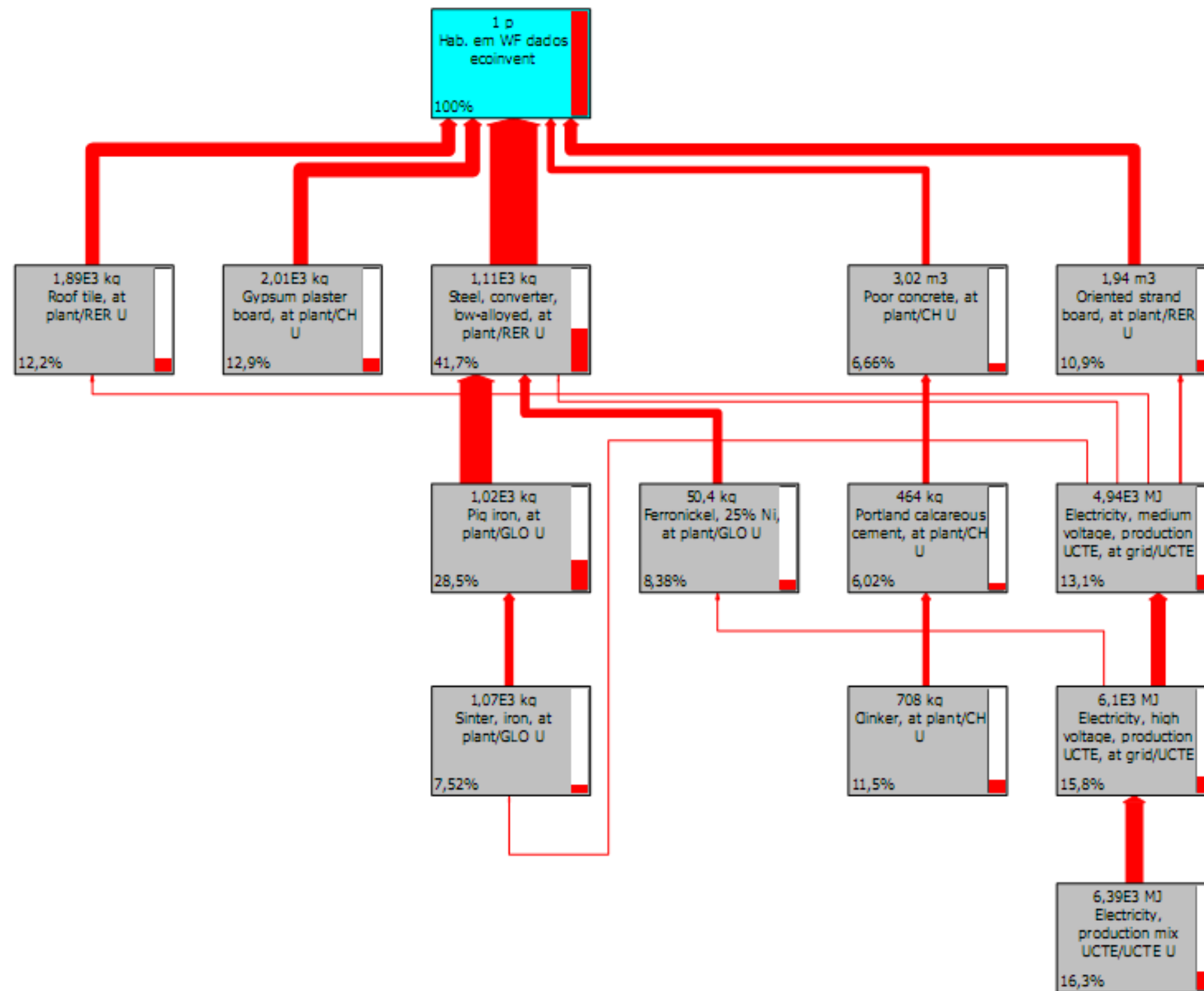



Figura 34 - Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em *Wood Frame* com dados do Ecoinvent (2012).

A Figura 35 mostra os materiais do banco de dados Ecoinvent (2012) e as quantidades para a habitação em alvenaria e a Figura 35 ilustra a avaliação de impacto para o Aquecimento Global da Habitação em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012) de acordo com o método de avaliação de impacto CML 2 baseline 2000 V2.V5/ Mundo, 1990.

Nome	Imagem	Comentário
Hab. em Alvenaria dados ecoinvent		
Estado	Terminado	

Materiais/Montagens	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD <sup>2</sup> eller 2*Min	Máx	Comentário
Cement, unspecified, at plant/CH U	6120,99	kg	Indefinido			
Gravel, unspecified, at mine/CH U	8530,5	kg	Indefinido			
Sand, at mine/CH U	25770,15	kg	Indefinido			
Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U	578	kg	Indefinido			
Brick, at plant/RER U	5532,8	kg	Indefinido			
Limestone, milled, packed, at plant/CH U	215,99	kg	Indefinido			
Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	96,82	kg	Indefinido			
Alkyd paint, white, 60% in solvent, at plant/RER U	49,4	kg	Indefinido			
Roof tile, at plant/RER U	2573,25	kg	Indefinido			
(Insira linha aqui)						

Figura 35 - Quantitativo dos materiais componentes da habitação de interesse social em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012).



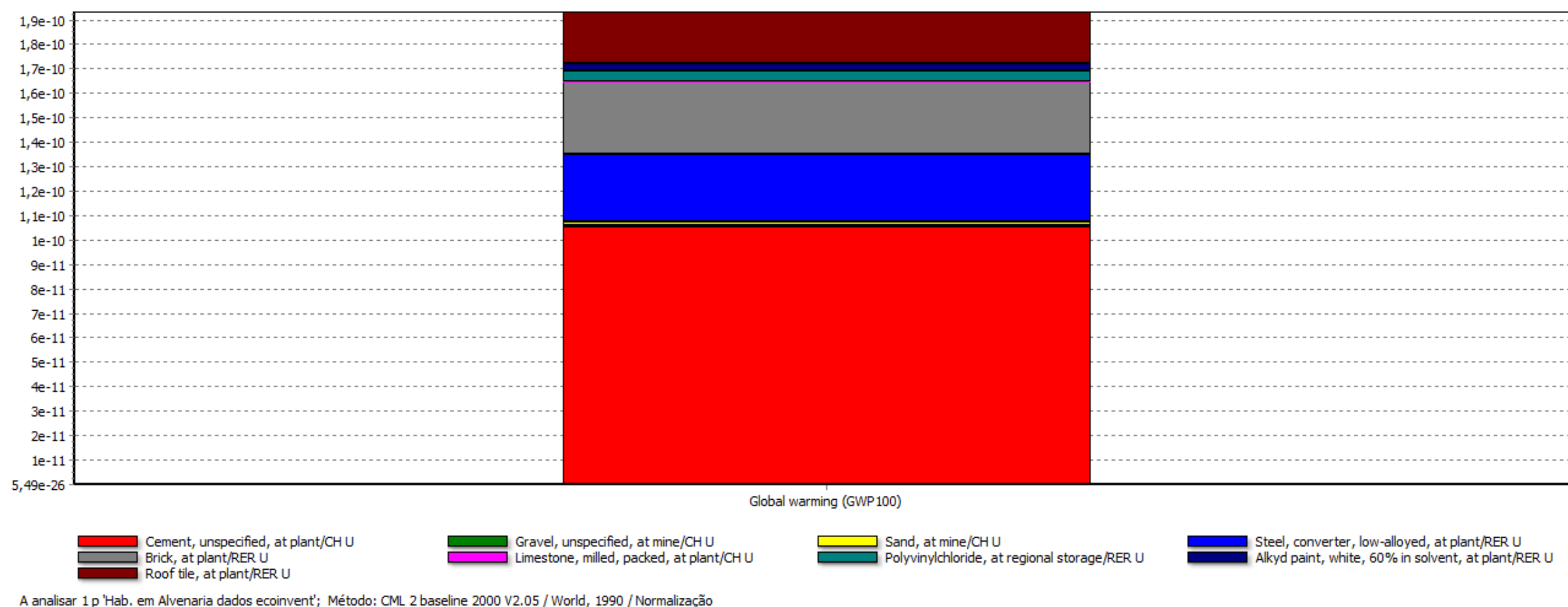


Figura 36 - Aquecimento global como impacto causado pelos materiais componentes da habitação em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012) pelo CML 2 baseline 2000

A Figura 37 mostra a rede do impacto Aquecimento global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012), explicitando a contribuição do da telha cerâmica em 11% em comparação com a habitação em alvenaria de 25%; o tijolo com cerca de 16%, próximo aos 15% apresentados pela habitação em alvenaria e o cimento com uma contribuição de cerca de 55% do impacto ambiental.

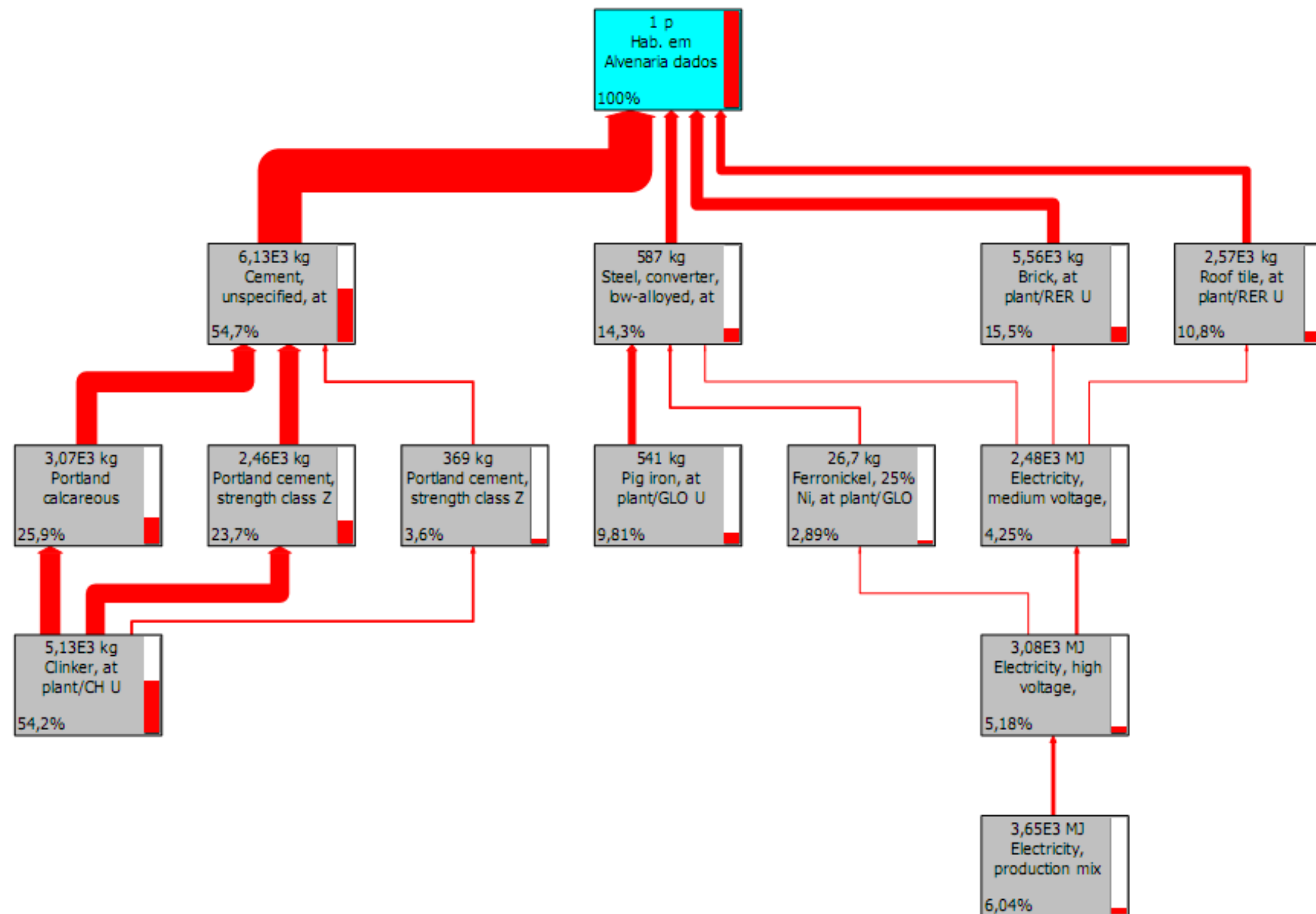


Figura 37 - Rede do impacto do Aquecimento Global pelo método CML 2 baseline 2000 para a habitação em alvenaria com dados do Ecoinvent (2012).

5.3.3 Aquecimento global

Com o objetivo de analisar a contribuição de diferentes métodos na avaliação do impacto ambiental para o aquecimento global comparou-se as quatro habitações para diferentes métodos, conforme mostra a Figura 38.

Função de cálculo

Rede

Árvore

Analisar

Comparar

Método

CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1990

Produto	Quantidade	Unidade	Projecto	Comentário
Hab. em Alvenaria dados ecoinvent	1	p	Habitação de Interesse Social	
Hab. em WF dados ecoinvent	1	p	Habitação de Interesse Social	
Habitação em Alvenaria	1	p	Habitação de Interesse Social	
Habitação em Wood Frame	1	p	Habitação de Interesse Social	

Figura 38 – Layout da comparação das quatro habitações.

A Figura 39 mostra esta comparação para o método CML 2 baseline 2000 V2.05/World, 1990, para o aquecimento global. Manteve-se a proporção entre as habitações em *Wood Frame* e alvenaria, sendo que para ambos os casos, o impacto ambiental causado pela alvenaria foi sensivelmente maior.

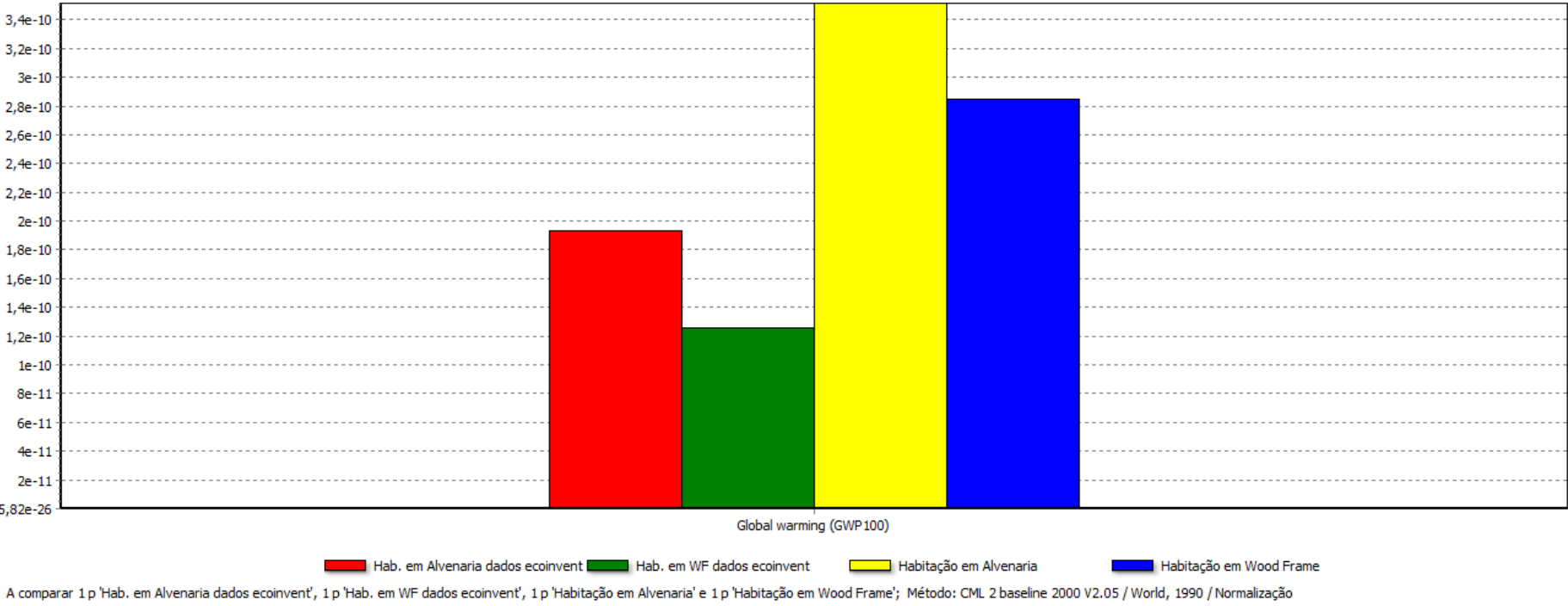


Figura 39 - Método CML 2 baseline V2.05/World

A Figura 40 mostra a comparação aplicada ao método do GHG Protocol V1.01 para o CO<sub>2eq</sub> de origem fóssil. A mesma relação anteriormente descrita é observada.

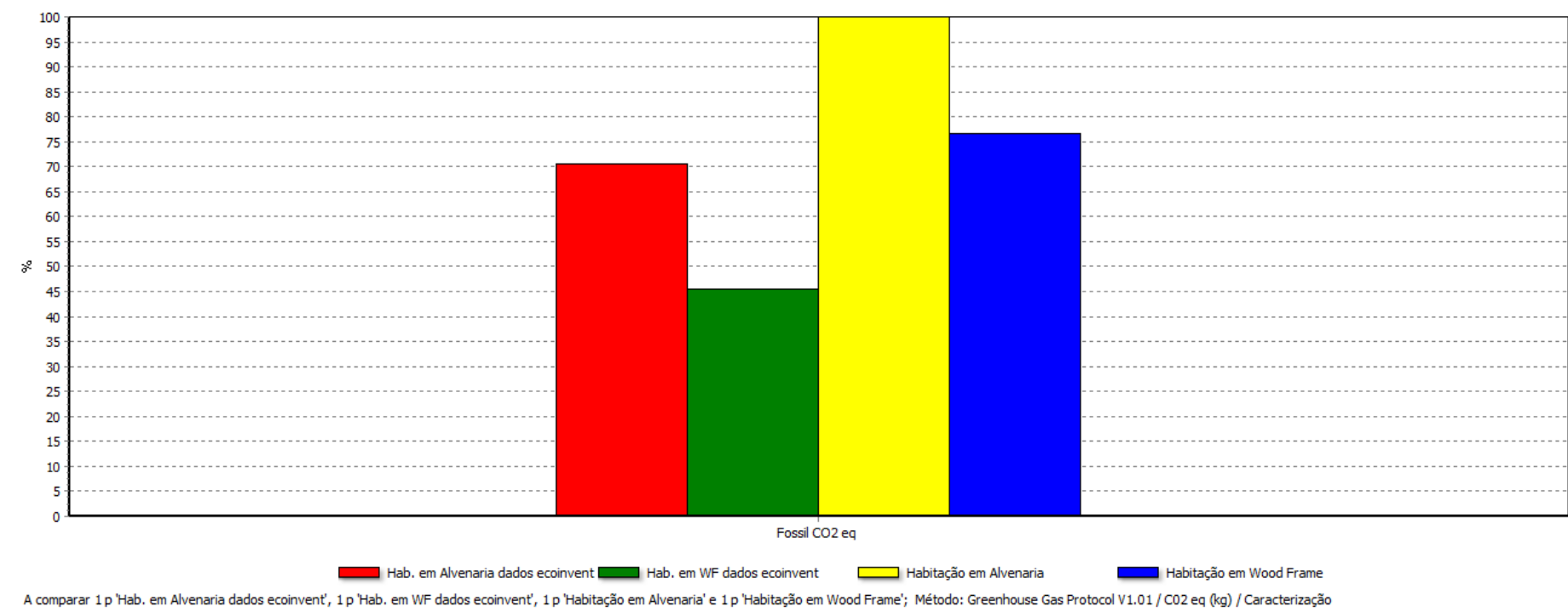


Figura 40 - Método Greenhouse Gas Protocol V1.01

A Figura 41 mostra a mesma comparação para o método do IPCC 2007 100 anos para o aquecimento global. Observa-se uma diferença de 20% entre os impactos das habitações com os dados do Ecoinvent (2012) e das habitações com dados dos materiais modelados.

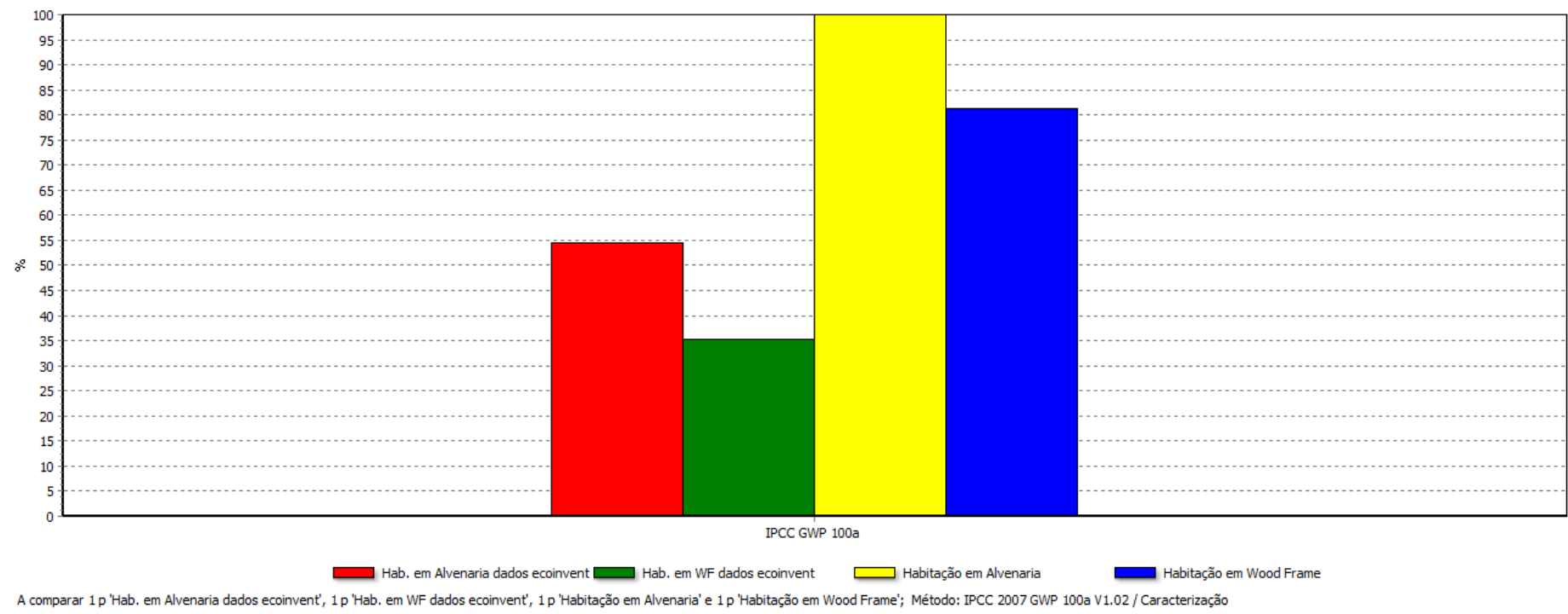


Figura 41 - Método IPCC 2007 GWP 100a V1.02

Por fim, a Figura 42 mostra esta comparação pelo método norte-americano BEES. A mesma diferença de 20% é observada entre as habitações.

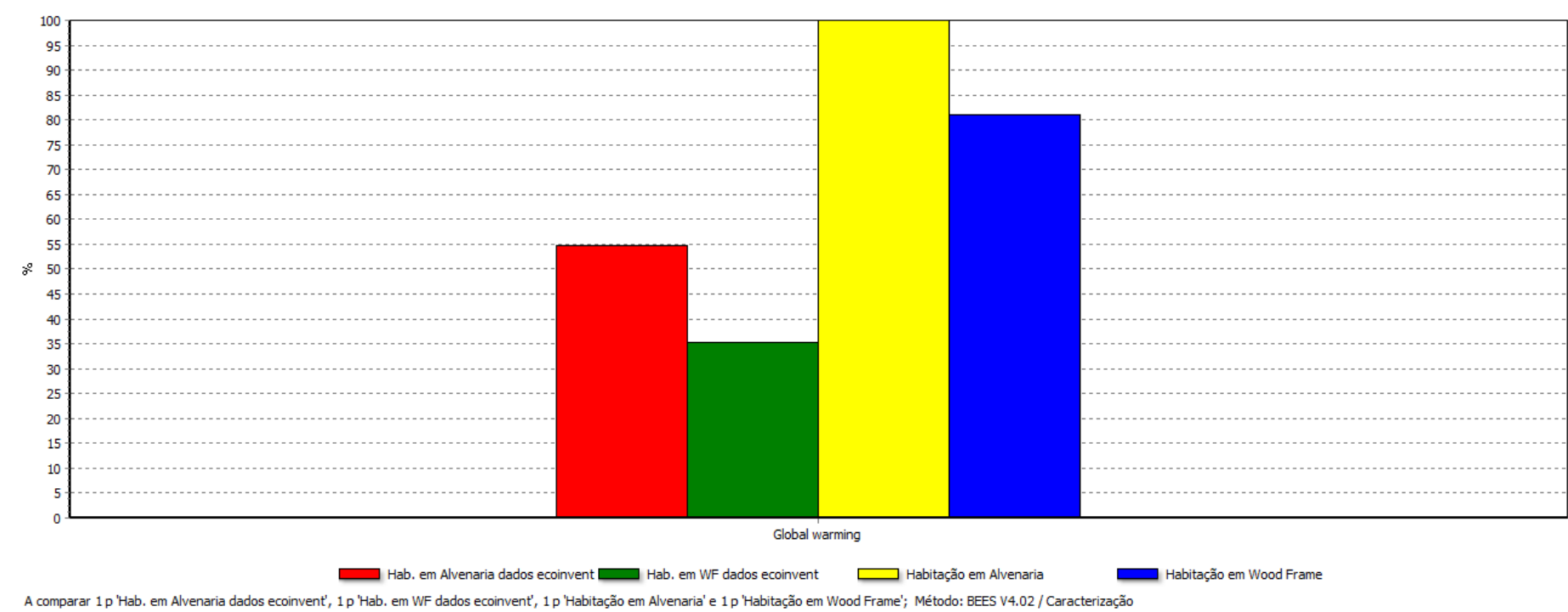


Figura 42 - Método BEES V4.02

As Figuras 29, 40, 41 e 42 mostram que, mesmo variando os métodos de avaliação de impacto, os resultados observados para o aquecimento global foram os mesmos. Esta análise é importante para que se saiba a influência da escolha do método na comparação das habitações.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A matriz energética brasileira é considerada limpa, em comparação a outros países, apesar de apenas uma considerável percentagem ser de fonte renovável, deste modo, o uso racional é uma estratégia para o alcance de uma sustentabilidade energética. Este fato se mostra importante quando, tanto no Brasil como no mundo, a construção civil se apresenta como a atividade de origem antropogênica que mais demanda recursos energéticos e naturais, tanto para a manufatura de seus componentes, instalação, operação e conforto térmico. É fundamental que, frente a estas considerações, o governo alinhe suas políticas públicas à eficiência energética e estimule o uso de fontes renováveis, como a energia eólica e solar, pois a geração energética impacta todas as dimensões da sustentabilidade.

As construções mais sustentáveis precisam ser mais que apenas energeticamente eficientes, porém a escolha de se iniciar um processo de avaliação de sustentabilidade pela questão energética é uma alternativa interessante, na medida em que a construção civil utiliza tantos produtos derivados de materiais de indústrias energo-intensivas como: cimento, ferro-gusa e aço, mineração, química e cerâmica. Vale ressaltar que alguns destes materiais apresentam como fonte energética a própria madeira. Ainda no contexto das mudanças climáticas, a avaliação pode se estender para a relação do consumo energético e das emissões atmosféricas de gases do efeito estufa.

O consenso é de que uma edificação consome muito mais energia durante o seu ciclo de vida operacional, do que durante a extração, manufatura e transporte dos materiais envolvidos na edificação. Porém, no mundo observa-se que a fração de energia embutida corresponde a uma parte cada vez mais significativa do consumo total de energia de uma construção, na medida em que as mesmas se tornam mais eficientes energeticamente e a fabricação dos materiais de construção é uma das principais fontes de gases poluentes neste setor. O emprego de materiais com menor energia embutida e mais duráveis são estratégias para a aplicação dos conceitos de sustentabilidade no setor.

Observa-se uma movimentação no Brasil em direção às chamadas *Construções Sustentáveis*, alimentadas pelos projetos para a Copa do Mundo em 2014 e das Olimpíadas em 2016 – que serão sediadas no país – que impulsionam a certificação para edificações

sustentáveis, auxiliando no desenvolvimento dos projetos, ao fornecer diretrizes para a racionalização de recursos. É importante diferenciar estas movimentações do foco desta habitação, por esta ter como objetivo, atender a uma demanda social das antigas *Casas Populares*, agora nomeadas Habitações de Interesse Social, enquanto que as construções certificadas possuem outros focos e objetivos. Esta atenção se faz necessária, ao avaliar a escolha dos materiais para a habitação, pois para cumprir o seu papel de acessibilidade social, foram feitas escolhas baseadas no custo e na rapidez de instalação dos materiais, e não necessariamente nos critérios de racionalização de recursos.

A opção deste projeto de dissertação, por um produto relativamente novo na indústria brasileira, se justificou na medida em que este se apoia no déficit habitacional que o país enfrenta, apresentando-se como uma alternativa viável, rápida e duradoura.

A manufatura dos produtos à base de madeira gera menos emissões de CO<sub>2</sub> e menos resíduos em comparação com outros materiais, como aço e concreto. Por outro lado, madeiras tratadas com preservantes podem ter um impacto toxicológico sobre a saúde humana. Este estudo de caso vai ao encontro de sua revisão bibliográfica, apoiando a madeira como um material menos impactante ao meio ambiente em comparação aos materiais de alvenaria convencional. Porém, surgiu a questão de como avaliar a madeira enquanto opção ambientalmente adequada, do ponto de vista da energia e do carbono embutidos, para habitações de interesse social.

Como o objetivo de dimensionar a energia e o carbono embutidos nos materiais que compõem uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira e analisar a contribuição do processo de manufatura desta, em termos de energia embutida, no impacto ambiental desta habitação, este pesquisa aborda no Capítulo 5 o cálculo da energia embutida no processo de pré-fabricação da habitação de interesse social em *Wood Frame*. O valor de 2,96 MJ/m<sup>2</sup> de energia embutida na manufatura da habitação pré-fabricada é um valor baixo frente ao valor da energia embutida no beneficiamento dos materiais que a compõem, de 2,4 GJ/m<sup>2</sup>. Observa-se que o processo de beneficiamento da madeira dentro da fábrica acrescenta muito pouco em termos de energia embutida, sendo que o principal contribuinte é a eletricidade empregada na fábrica.

A construção em *Wood Frame* apresenta uma série de vantagens, tal como o tempo de realização mais curto. Neste estudo de caso, a manufatura do produto durou apenas 36 horas. O custo de uma habitação pré-fabricada em *Wood Frame* é mais baixo que uma em alvenaria convencional, além do ganho na espessura da parede.

A opção por um estudo de caso permitiu um conhecimento detalhado sobre o produto e sobre o processo de pré-fabricação. Foram ouvidos relatos da equipe produtiva, da equipe de montagem – que deram sugestões de alteração no processo e comentaram as lições aprendidas – e do motorista que transportou os painéis para outro município. Observou-se a presença de alguns princípios da empresa na pré-fabricação da habitação de interesse social em *Wood Frame*: inovação, respeito às normas, segurança da equipe produtiva, implantação de um produto de desenvolvimento social e otimização dos recursos, de modo a promover a diminuição dos impactos ambientais.

São muitas as barreiras que se apresentam em estudos de caso sendo que particularmente, esta pesquisa encontrou algumas, por se tratar de um produto novo no mercado brasileiro. Após a escolha de uma habitação em *Wood Frame* como estudo de caso e o acordo com a empresa responsável pela manufatura desta casa pré-fabricada, observou-se a dificuldade de acesso às informações dos fornecedores dos materiais que compõem a habitação. Uma das dificuldades, é que por se tratar de um novo mercado, muitos dos materiais empregados no exterior, ainda não se encontram disponíveis no mercado brasileiro. Por isso, a habitação construída aqui, apresenta divergências com habitações chilenas, americanas, alemãs e francesas. Além disso, as poucas unidades habitacionais construídas em *Wood Frame* no Brasil, não são de interesse social e sim buscam a classe média e alta brasileira, portanto, não se podem tratar estas como possuindo o mesmo tipo de padrão construtivo. Por isto, quando optou-se por realizar uma comparação com uma habitação em alvenaria, foi utilizada uma outra habitação de interesse social, já que ambas possuem o mesmo padrão.

É necessário ressaltar que, apesar de no Brasil haver o programa do governo federal Minha Casa, Minha Vida, financiado pela Caixa Econômica Federal, com o objetivo de diminuir o déficit habitacional brasileiro, para famílias que recebem até dez salários mínimos



(CEF, 2012), atualmente a habitação em *Wood Frame* não se enquadra nestes financiamentos.

A estratégia de utilizar materiais à base de madeira em aplicações duráveis promove a fixação de carbono, porém estes produtos têm de ser de floresta plantada certificada e não devem estar a uma grande distância dos pontos de aplicação, para que o impacto do transporte não anule esta fixação. A quantia de 90 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> – já descontados o carbono fixados nos materiais a base de madeira – emitidos na produção dos materiais componentes da habitação em *Wood Frame* é sensivelmente menor do que os 229 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> emitidos na produção dos materiais da habitação em alvenaria. No contexto da construção civil, produtos de função semelhante podem ter a sua escolha definida no quesito de transporte dos materiais até o canteiro de obras, definindo qual seria a melhor opção. Neste projeto, a parte de transporte não foi contabilizada, e como sugestão para trabalhos futuros, deveria se realizar uma análise dos transportes da matéria-prima até os fornecedores, destes até a empresa de manufatura da casa pré-fabricada e desta até o canteiro de obras. Este acompanhamento do fluxo do transporte dos materiais é fundamental para uma análise completa da situação.

Como afirma Laroca (2002), a idealização da habitação social é um programa de resgate a cidadania, onde a produção da habitação é apenas um dos aspectos envolvidos e é necessário desvincular a madeira da ideia de construção de baixo custo e temporária. A busca pela sustentabilidade exige uma nova visão e a promoção de novas formas de organização social.

Deve-se salientar que devido ao fato de os valores baixos da energia embutida neste estudo de caso ser produto do escopo físico do mesmo, sugere-se que em trabalhos futuros a energia embutida seja calculada para toda a cadeia do processo.

Durante o desenvolvimento de um produto, é de fundamental importância que a tomada de decisão, referente aos componentes do produto, esteja consciente dos impactos que estes podem ter tanto ambientalmente, como socioeconomicamente e das especificidades regionais brasileiras.

A ACV como uma ferramenta de contabilidade de impacto ambiental, pode fornecer as bases para que a empresa fabricante identifique os pontos que necessitam de melhorias, o consumo energético, as emissões atmosféricas e a geração de resíduos, em todas as etapas do ciclo de vida do produto. Para que este processo possa ocorrer é necessário que exista um banco de dados que reúna informações sobre matéria-prima, consumos energéticos, emissões atmosféricas, desperdícios do processo, entradas e saídas tecnológicas, entre outras. Esta contabilidade pode, por exemplo, mostrar que a energia embutida em um produto é maior, porém sua energia operacional é menor, sendo que este balanço irá mostrar qual de fato consome menos energia. Outro fato é que produtos com função semelhante possuem diferentes impactos ambientais.

A opção de utilizar um método de avaliação de impacto europeu ocorreu por estes estarem mais avançados nesta questão e o *software* SimaPro se mostrou um facilitador para a comparação entre as habitações em *Wood Frame* e em alvenaria, explicitando as diferenças e contabilizando os impactos através da base de dados Ecoinvent (2012) e da inserção de dados de Tavares (2006), do ICE (2011) e Athena (2008). Esta possibilidade, de utilizar dados internalizados do Ecoinvent (2012), ou de inserir os dados específicos da situação, se provou uma das grandes vantagens de se usar o SimaPro. Além disso, por este oferecer a possibilidade de comparar ou de analisar os dados, através de vários métodos – como o IPCC, GWP, CML, EPS, Eco-Indicator, EDIP, BEES – amplia-se a possibilidade de analisar a influencia destes na avaliação de impacto e as diferenças apresentadas por cada um. A partir dos resultados obtidos na avaliação de impacto ambiental dos diferentes métodos, observa-se que no geral, estes mantiveram as mesmas proporções, ou seja, podem existir pequenas diferenças, mas a escolha do método teve pouca influência no resultado final.

Ainda é no Brasil – e em muitos países – complicado encontrar dados locais, fato que obriga as pesquisas a utilizar dados de outros países, de diferentes especificações e a simplificar as ACV's. Ao não contabilizar dados econômicos e sociais, este estudo não avalia todas as dimensões da sustentabilidade e a viabilidade do projeto. Outra sugestão para trabalhos futuros é a realização de uma ACV-S – Avaliação Social do Ciclo de Vida.

Para a complementação desta pesquisa, cabe ainda, em relação a trabalhos futuros, um estudo de inovação tecnológica e de empreendedorismo, tanto em relação à empresa de manufatura das casas pré-fabricadas em *Wood Frame*, quanto em relação aos fornecedores, que em muitos casos precisam ser desenvolvidos. Em questão aos fornecedores, cabe ressaltar que muitos materiais disponíveis para este tipo de habitação ainda não são fabricados no Brasil, fazendo com que se recorra a alternativas ou importação. Estas questões de cadeia de suprimentos devem estar conectadas ao processo, de modo a garantir para o consumidor o melhor produto com as melhores condições de preço, durabilidade e com o menor impacto ambiental, proporcionando assim uma alternativa mais adequada para a sociedade, pois uma construção não impacta apenas o morador, mas também a comunidade no entorno.

Por fim, deixo estas palavras que expressam a consideração final desta pesquisa:

*“O Brasil só irá produzir uma boa arquitetura de madeira quando os profissionais da construção civil e as universidades se interessarem pelo assunto. E a sociedade nacional se despir dos preconceitos com relação a este material.” Batista, p. 153, 2007.*

---

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEYSUNDARA, U. G. Y.; BABEL, S.; GHEEWALA, S. A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. **Building and Environment**, 44, 997-1004, 2009.

ALBRECHT, S.; RÜTER, S.; WELLING, J.; KNAUF, M.; MANTAU, U.; BRAUNE, A.; BAITZ, M.; WEIMAR, H.; SÖRGEL, S.; KREISSIG, J.; DEIMLING, J.; HELLWIG, S. **Ökologische potenziale durch Holznutzung gezieht fördern**. Arbeitsberich zum BMBF – Projekt FKZ 0330545, Stuttgart, 298 p., 2008.

ALLENBY, B.; RICHARDS, D. **The greening of industrial ecosystems**. Washington: The National Academy of Engineering Pub., 1994.

ALMEIDA, A. R. C.; BRUNSTEIN, I. **Análise da rotulagem ambiental integrada ao ciclo de vida de produtos florestais**. Anais: ENEGEP, 1998.

ATHENA INSTITUTE, Athena Sustainable Materials Institute. **A cradle-to-gate life cycle assessment of Canadian oriented strand board**. Ottawa: Athena Sustainable Materials Institute, 2008.

BARBOSA, J. C.; INO, A.; SHIMBO, I. **Sustainable indicators in the productive cycle of reforested wood housing**, 2000. Disponível em: <<http://timber.ce.wsu.edu/Resources/papers/P26.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2010.

BATISTA, F. D. **A casa de madeira: um saber popular**. Curitiba, PR: Instituto Arquibrasil, 2011. 102 p. (A casa de araucária: arquitetura da madeira em Curitiba; 2).

BATISTA, F. D. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da casa tradicional à contemporânea**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

BENTES-GAMA, M. de M. Manejo florestal sustentável, **Revista da Madeira**, n. 116, 2008.

BEN. Balanço Energético Nacional, 2011. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 03 mar. 2012.

BERRIEL, A. **Arquitetura de madeira: reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) ) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BERRIEL, A. **Tectônica e poética das casas de tábuas**. Curitiba, PR: Instituto Arquibrasil, 2011. 108 p. (A casa de araucária: arquitetura da madeira em Curitiba; 3).

BÖRJESSON, P.; GUSTAVSSON, L. Greenhouse gas balances in building constructions: wood vs. concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. **Energy Policy**, 28, 575-588, 2000.

BRASIL SUSTENTÁVEL. **Brasil sustentável – potencialidades do Mercado habitacional**. São Paulo: FGV e Ernst & Young, 2008.

BRUNDTLAND, G. H. **Our common Future: The world commission on environment and Development**. Oxford. Oxford University Press. 398 pp. 1987.

BUCHANAN, A. H.; LEVINE, S. B. Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. **Environment Science & Policy**, 2, 427-437, 1999.

BURGOS, A. C.; CORTINA, D. C.; BERNABÉ, G. D.; CUSCÓ, A. S. **Parámetros de Sostenibilidad**. Barcelona: Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, ITeC, 2003.

CASAGRANDE JÚNIOR, E. F. **Comparativo de emissões de casas de alvenaria de interesse social e casas utilizando o sistema de construção energitêmica sustentável**. Escritório Verde, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

CASTRO, S. C. L. de **O uso da Madeira em construções habitacionais: a experiência do passado e a perspectiva de sustentabilidade no exemplo da arquitetura chilena**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CEF, Caixa Econômica Federal. Disponível em: <[www.minhacasaminhavidacom.br](http://www.minhacasaminhavidacom.br)>. Acesso em: 10 mar. 2012.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos – ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1998.

CIB. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. **Agenda 21 para a Construção Sustentável**. São Paulo. p. 131, 2000.

CORTE, A. P. D. **Metodologia para detecção da elegibilidade, linha de base e monitoramento de projetos de mdl florestal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DAMASCENO, S. M. D.; AQUINO, D. S.; VASCONCELOS, P. H.; REIS, D. R.; BARCELOS, A. D. Sustentabilidade no foco da inovação. **Revista Gestão Industrial**, 7, 120 – 134, 2011.

DRUSZCZ, M. T. **Avaliação dos aspectos ambientais dos materiais de Construção Civil – uma revisão bibliográfica com estudo de caso do bloco cerâmico**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

Ecobilan Group. Disponível em: < <http://ecobilan.pwc.fr>>. Acesso em: 20 de fev. 2012.

Ecoinvent. Disponível em: <[www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)>. Acesso em: 20 de fev. 2012.

EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade**. 2ª Edição. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2005.

EGAS, L. **Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus. Caso: Assentamento rural Pirituba II**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ESTUQUI FILHO, C. A. **A durabilidade da madeira na arquitetura sob a ação dos fatores naturais: estudo de caso em Brasília**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

GALDIANO, G. de P. **Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil**. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GIANETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 2ª Edição. São Paulo: Editora da Universidade Federal de São Paulo, 2003.

GRI, Global Initiative Report LP Building Products, 2009. Disponível: <<http://www.lpcorp.com/sustainability/gri>> Acesso: 10 jun. 2011.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FSC Brasil, Conselho Brasileiro de Manejo Florestal. Disponível em: <<http://www.fsc.org.br>>. Acesso: 9 de jun. 2011.

HALLIDAY, S. P. Architecture of habitat: design for life. **Gaia Research**. Grã Bretanha: The Royal Society, 1389 -1403, 1997.

HARRIS, D. J. A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials. **Building and Environment**, 34, 751-758, 1999.

HILGENBERG NETO, M. F. **Estudo de viabilidade técnico/econômica da casa de madeira popular no Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**, 40, 837-848, 2008.

ICE 2.0, Inventory of Carbon & Energy. University of Bath, Inglaterra, 2011.

Disponível em: <http://people.bath.ac.uk/cj219/>. Acesso: 23 mai. 2011.

IEA, International Energy Agency. Key World Statistics 2009. IEA, Paris.

Disponível em: [www.iea.org](http://www.iea.org). Acesso: 29 abr. 2010.

IFU. Disponível em: <<http://www.umberto.de>>. Acesso: 20 de fev. 2012.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/cerflor>>. Acesso: 10 jun. 2011.

INO, A.; SHIMBO, I. **Sistema construtivo em Madeira de eucalipto para habitação social: construção de protótipo**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Rio de Janeiro, 1995. Anais ENTAC.

IOPscience, Energy Accounting of Materials, products, Processes and Services. **Physics in Technology**, 7, 216-217, 1976. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/0305-4624/7/5/407>  
Acesso: 15 abr. 2010

ISO. Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. International Standard Organization: ISO 14040, 2006.

JOHN, V. M. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Projeto entulho bom. Capítulo 1. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

LAROCA, C. **Habitação social em madeira: uma alternativa viável**. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LAZZARI, M. A. **Avaliação ambiental de um veículo elétrico coletor de resíduos sólidos urbanos recicláveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LOBO, F. H. R. **Metodologia de inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono por meio de análise energética de composição de serviço de obras pelo ciclo de vida de edificações**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LP Brasil. Disponível em: <[www.lpbrasil.com.br](http://www.lpbrasil.com.br)>. Acesso em: 6 de jun. 2011.

MARCOS, M. H. C. **Análise da emissão de CO<sub>2</sub> na fase pré-operacional em habitações de interesse social, através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MARQUES, L. E. M. M. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, 2008.

MATEUS, R. F. M. da S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Porto, Escola de Engenharia, Porto, 2004.



MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível: <[www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)>, Acesso: 10 mai. 2011.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro Inventário Brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência**. Emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças nos estoques de florestas plantadas: Brasília, 2006.

MITHRARATNE, N.; VALE, B. Life cycle analysis model for New Zealand houses. **Building and Environment**, 39, 483-492, 2004.

NIST. Disponível em: <<http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>>. Acesso: 20 de fev. 2012.

OSB Guide. Disponível em: <<http://osbguide.tecotested.com/osbtour>>. Acesso: 11 de jun. 2011.

Pe International. Disponível em: <<http://www.pe-international.com>>. Acesso: 20 de fev. 2012.

PEREIRA, A. F. **Aplicação da ACV como parâmetro de rotulagem e argumento de comunicação junto ao usuário**. Anais: 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida de produtos e serviços – colaborando com decisões sustentáveis, Florianópolis, 2010.

PETERSEN, A. K.; SOLBERG, B. Environment and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. **Forest Policy and Economics**, 7, 249-259, 2005.

PNUMA, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia, 1995.

PPGECC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil. Disponível em: [www.ppgcc.ufpr.br/](http://www.ppgcc.ufpr.br/). Acesso: 04 de abr. 2012.

PORTO, A. L. G.; DELGADO, G. M.; MELO, F. J. F.; ALEIXO JUNIOR, J. F. M.; DEMARZO, M. A. **Indicadores de sustentabilidade (LCA) e análise do ciclo de vida para madeira de reflorestamento na Construção Civil**. Anais: XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2009.

RAMIREZ, P. **Análise de Métodos de Alocação Utilizados em Avaliação do Ciclo de Vida. Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

REDDY, B. V. V.; JAGADISH, K. S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. **Energy and Buildings**. V. 35, p. 129 – 137, 2003

RICE, G.; CLIFT, R.; BURNS, R. LCA Software Review – Comparison of Currently Available European LCA Software. **Int. J. LCA**, 2, 53-59, 1997.

RICHTER, K. Life Cycle Assessment of Wood Products, in **Carbon Dioxide Mitigation in Forestry and Wood Industry**. Springer-Verlog: Berlin, 1998.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practitioner-researches**. 2 ed. Blackwell Publishing, 2002.

SALLES, A. C. N. **Emissões de gases de efeito estufa dos dormentes de ferrovia de madeira natural e de madeira plástica no Brasil e na Alemanha com base em seus ciclos de vida**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, J. A. dos. **Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Guimarães, 2007.

SANTOS, M. P. dos; AGUILAR, M. T. P. Painéis de madeira como vedação em construções. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 14, n. 15, 2007.

SILVA, R. D.; INO, A. Habitação econômica em madeira no Brasil: estado da arte. XI EBRAMEM. Londrina, 2008.

SIMAPRO. Disponível em:< <http://www.pre.nl>>. Acesso: 11 de out. 2011.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventários da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, v. 4, n.2, p. 83-94, Porto Alegre, 2004.

SOBRAL, L. *et al.*, **Acertando o alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém: Imazon, 2002.

STACHERA JÚNIOR, T. **Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na Construção Civil: um estudo de caso na habitação de interesse social no Paraná**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TRELOAR, G. **A Comprehensive Embodied Energy Analysis Framework**. Tese (Doctor of Philosophy) – Faculty of Science and Technology, Deakin University, 1998.

TRELOAR, G.; FAY, R.; ILOZOR, B.; LOVE, P. Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities. **Facilities**, v.19, n.3/4, PP. 139 – 149, 2001.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso: 10 jun. 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Bookman. 3 ed. Porto Alegre, 2005.

WERNER, F.; RICHTER, K. Wooden building products in comparative lca. **International Journal of LCA**, 12, 470-479, 2007.

WILTING, H. C. **An energy perspective on economic activities**. Tese de Doutorado. Rijksuniversiteit Groeningen, Holanda, 1996.

ZANI, A. C. **Arquitetura em Madeira**. Londrina: Eduel, 2003.

ZENID, G. Z. **Madeira: uso sustentável na Construção Civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009.

## **APÊNDICE**

### **QUANTITATIVO DE MATERIAL QUE COMPÕEM A HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM *WOOD FRAME***

	Descrição	Quantidade	Unidade	Material	Comprimento (m)	Largura (m)	Espessura (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
1	Acabamento interno	18	m²	Cerâmica de revestimento	0,280	0,400			261,000
2	Acabamento interno	39	m²	Piso cerâmico	0,430	0,430			290,000
3	Acabamento interno	3	sacos	Rejunte					7,500
4	Acabamento interno	62	m	Rodapé cerâmico	0,430				24,972
5	Cobertura	42,9	m²	Telha cerâmica					1887,600
6	Esquadrias	5	Unidade	Janela de correr aço	1,200	1,000	0,014	0,081	635,850
7	Esquadrias	1	Unidade	Porta aço	2,100	0,800	0,035	0,059	461,580
8	Esquadrias	3	Unidade	Porta madeira	2,100	0,800	0,035	0,176	105,840
9	Esquadrias	6	m²	Vidro			0,004	0,024	60,000
10	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,300	0,089	0,038	0,008	4,667
11	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	0,614	0,089	0,038	0,002	1,246
12	Estrutura inferior	3	Unidade	Pinus	0,078	0,089	0,038	0,001	0,475
13	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,414	0,089	0,038	0,008	4,898
14	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	1,204	0,089	0,038	0,004	2,443
15	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	1,241	0,089	0,038	0,004	2,518
16	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,492	0,089	0,038	0,008	5,057
17	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,491	0,089	0,038	0,008	5,055
18	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,915	0,089	0,038	0,010	5,915
19	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,579	0,089	0,038	0,009	5,233
20	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,505	0,089	0,038	0,008	5,083
21	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,878	0,089	0,038	0,010	5,840
22	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	3,707	0,089	0,038	0,013	7,522
23	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	3,421	0,089	0,038	0,012	6,942
24	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	2,490	0,089	0,038	0,008	5,053
25	Estrutura inferior	1	Unidade	Pinus	0,834	0,089	0,038	0,003	1,692
26	Estrutura superior	2	Unidade	Pinus	3,660	0,089	0,038	0,025	14,854
27	Estrutura superior	2	Unidade	Pinus	2,300	0,089	0,038	0,016	9,334
28	Estrutura superior	1	Unidade	Pinus	1,379	0,089	0,038	0,005	2,798
29	Estrutura superior	2	Unidade	Pinus	2,341	0,089	0,038	0,016	9,501
30	Estrutura superior	1	Unidade	Pinus	1,290	0,089	0,038	0,004	2,618
31	Estrutura superior	1	Unidade	Pinus	2,491	0,089	0,038	0,008	5,055
32	Estrutura superior	2	Unidade	Pinus	2,417	0,089	0,038	0,016	9,809
33	Estrutura superior	2	Unidade	Pinus	2,826	0,089	0,038	0,019	11,469
34	Estrutura superior	1	Unidade	Pinus	3,707	0,089	0,038	0,013	7,522
35	Estrutura superior	1	Unidade	Pinus	1,201	0,089	0,038	0,004	2,437
36	Estrutura superior	1	Unidade	Pinus	1,121	0,089	0,038	0,004	2,275
37	Fundação	1,296	m³	Brita	7,200	6,000	0,030	1,296	2138,400
38	Fundação	3,024	m³	Concreto	7,200	6,000	0,070	3,024	6955,200
39	Parede	1	Unidade	Drywall	2,400	0,928	0,013	0,029	23,163
40	Parede	12	Unidade	Drywall	2,400	1,200	0,013	0,449	359,424

41	Parede	1	Unidade	Drywall	2,400	0,077	0,013	0,002	1,922
42	Parede	1	Unidade	Drywall	2,400	0,376	0,013	0,012	9,385
43	Parede	1	Unidade	Drywall	2,400	1,021	0,013	0,032	7,167
44	Parede	1	Unidade	Drywall	0,411	0,307	0,013	0,002	0,369
45	Parede	5	Unidade	Drywall	2,420	1,222	0,013	0,192	43,250
46	Parede	4	Unidade	Pinus	0,580	0,089	0,038	0,008	4,708
47	Parede	6	Unidade	Pinus	0,524	0,089	0,038	0,011	6,380
48	Parede	77	Unidade	Pinus	2,320	0,089	0,038	0,604	362,496
49	Parede	14	Unidade	Pinus	0,562	0,089	0,038	0,027	15,966
50	Parede	1	Unidade	Pinus	0,905	0,089	0,038	0,003	1,836
51	Parede	1	Unidade	Pinus	2,800	0,089	0,038	0,009	5,682
52	Parede	2	Unidade	Pinus	0,557	0,089	0,038	0,004	2,261
53	Parede	1	Unidade	Pinus	2,749	0,089	0,038	0,009	5,578
54	Parede	3	Unidade	Pinus	0,076	0,089	0,038	0,001	0,463
55	Parede	3	Unidade	Pinus	0,956	0,089	0,038	0,010	5,820
56	Parede	14	Unidade	Pinus	0,231	0,089	0,038	0,011	6,562
57	Parede	6	Unidade	Pinus	2,051	0,089	0,038	0,042	24,971
58	Parede	3	Unidade	Pinus	3,660	0,089	0,038	0,037	22,281
59	Parede	1	Unidade	Pinus	2,163	0,089	0,038	0,007	4,389
60	Parede	4	Unidade	Pinus	1,291	0,089	0,038	0,017	10,479
61	Parede	4	Unidade	Pinus	1,015	0,089	0,038	0,014	8,239
62	Parede	6	Unidade	Pinus	0,998	0,089	0,038	0,020	12,151
63	Parede	2	Unidade	Pinus	2,472	0,089	0,038	0,017	10,032
64	Parede	2	Unidade	Pinus	0,480	0,089	0,038	0,003	1,948
65	Parede	3	Unidade	Pinus	0,511	0,089	0,038	0,005	3,111
66	Parede	3	Unidade	Pinus	0,615	0,089	0,038	0,006	3,744
67	Parede	1	Unidade	Pinus	3,140	0,089	0,038	0,011	6,372
68	Parede	1	Unidade	Pinus	0,834	0,089	0,038	0,003	1,692
69	Parede	1	Unidade	Pinus	0,720	0,089	0,038	0,002	1,461
70	Parede	2	Unidade	Pinus	0,179	0,089	0,038	0,001	0,726
71	Parede	2	Unidade	Pinus	0,180	0,089	0,038	0,001	0,731
72	Parede	3	Unidade	Pinus	0,545	0,089	0,038	0,006	3,318
73	Parede	1	Unidade	Pinus	0,646	0,089	0,038	0,002	1,311
74	Parede	1	Unidade	Pinus	1,426	0,089	0,038	0,005	2,894
75	Parede	2	Unidade	Pinus	0,691	0,089	0,038	0,005	2,804
76	Parede	2	Unidade	Pinus	1,398	0,089	0,038	0,009	5,674
77	Parede	1	Unidade	Pinus	3,332	0,089	0,038	0,011	6,761
78	Parede	1	Unidade	Pinus	2,416	0,089	0,038	0,008	4,903
79	Parede	2	Unidade	Pinus	0,555	0,089	0,038	0,004	2,252
80	Parede	1	Unidade	Pinus	0,340	0,089	0,038	0,001	0,690
81	Parede	1	Unidade	Pinus	0,916	0,089	0,038	0,003	1,859

82	Parede	5	Unidade	Pinus	0,211	0,089	0,038	0,004	2,141
83	Parede	4	Unidade	Pinus	2,071	0,089	0,038	0,028	16,810
84	Parede	2	Unidade	Pinus	2,300	0,089	0,038	0,016	9,334
85	Parede	2	Unidade	Pinus	2,490	0,089	0,038	0,017	10,105
86	Parede	1	Unidade	Pinus	0,543	0,089	0,038	0,002	1,102
87	Parede	1	Unidade	Pinus	1,201	0,089	0,038	0,004	2,437
88	Parede	1	Unidade	Pinus	0,411	0,089	0,038	0,001	0,834
89	Parede	1	Unidade	Pinus	0,525	0,089	0,038	0,002	1,065
90	Parede	1	Unidade	Pinus	0,676	0,089	0,038	0,002	1,372
91	Parede	1	Unidade	Pinus	1,000	0,089	0,038	0,003	2,029
92	Parede	1	Unidade	Pinus	3,300	0,089	0,038	0,011	6,696
93	Parede	1	Unidade	Pinus	2,200	0,089	0,038	0,007	4,464
94	Parede	1	Unidade	Pinus	3,500	0,089	0,038	0,012	7,102
95	Parede	2	Unidade	Pinus	0,638	0,089	0,038	0,004	2,589
96	Parede	3	Unidade	Pinus	0,590	0,089	0,038	0,006	3,592
97	Parede	1	Unidade	Pinus	0,317	0,089	0,038	0,001	0,643
98	Parede	3	Unidade	Pinus	0,572	0,089	0,038	0,006	3,482
99	Parede	1	Unidade	Pinus	3,600	0,089	0,038	0,012	7,305
100	Parede	1	Unidade	Pinus	0,585	0,089	0,038	0,002	1,187
101	Parede	1	Unidade	Smartside	0,627	1,240	0,011	0,009	1,924
102	Parede	1	Unidade	Smartside	0,626	1,240	0,011	0,009	1,921
103	Parede	1	Unidade	Smartside	4,881	1,240	0,011	0,067	14,980
104	Parede	2	Unidade	Smartside	4,880	1,240	0,011	0,133	29,953
105	Parede	1	Unidade	Smartside	2,570	1,220	0,011	0,034	7,760
106	Parede	1	Unidade	Smartside	4,896	1,200	0,011	0,065	14,541
107	Parede	1	Unidade	Smartside	1,625	1,200	0,011	0,021	4,826
108	Parede	1	Unidade	Smartside	0,627	1,200	0,011	0,008	1,862
109	Parede	2	Unidade	Smartside	4,789	1,240	0,011	0,131	29,395
110	Parede	1	Unidade	Smartside	0,441	1,240	0,011	0,006	1,353
111	Parede	1	Unidade	Smartside	1,165	1,240	0,011	0,016	3,575
112	Parede	1	Unidade	Smartside	2,400	1,200	0,011	0,032	7,128
113	Parede	1	Unidade	Smartside	2,093	1,200	0,011	0,028	6,216
114	Revestimento Externo	22	placas	OSB	1,200	2,400	0,010	0,602	361,152
115	Revestimento Externo	43,98	m²	Tinta latex					5,717
116	Revestimento Interno	64	Unidade	Gesso	1,800	1,200	0,013	1,797	1383,782
117	Revestimento Interno	19	m²	Massa corrida			0,030	0,570	969,000
118	Revestimento Interno	28	placas	OSB	1,200	2,400	0,010	0,766	459,648
119	Revestimento Interno	166,5	m²	Tinta óleo					21,645
120	Revestimento Interno	146,88	m²	Tinta PVA					19,094
121	Ripamento	36	Unidade	Pinus	3,660	0,140	0,048	0,885	531,256
122	Treliça	2	Unidade	Pinus	3,795	0,089	0,238	0,161	96,463

123	Treliça	2	Unidade	Pinus	1,085	0,089	0,238	0,046	27,579
124	Treliça	2	Unidade	Pinus	0,875	0,089	0,238	0,037	22,241
125	Treliça	2	Unidade	Pinus	3,660	0,089	0,238	0,155	93,031
126	Treliça	2	Unidade	Pinus	0,047	0,089	0,238	0,002	1,195
127	Treliça	2	Unidade	Pinus	0,285	0,089	0,238	0,012	7,244
128	Treliça	2	Unidade	Pinus	0,495	0,089	0,238	0,021	12,582
129	Treliça	2	Unidade	Pinus	0,709	0,089	0,238	0,030	18,022
130	Treliça	2	Unidade	Pinus	0,922	0,089	0,238	0,039	23,436
131	Treliça	2	Unidade	Pinus	0,562	0,089	0,238	0,024	14,285
132	Treliça	2	Unidade	Pinus	2,340	0,089	0,238	0,099	59,479
133	Vigamento	10	Unidade	Pinus	3,821	0,140	0,038	0,203	121,966

Fonte: a partir de dados da empresa, 2011.